



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Telemática

## PROYECTO FIN DE CARRERA

# **Diseño de una solución de IP Trunking sobre red VPN entre múltiples sedes de un Contact Centre**

**Autor: José Sánchez Navarro**

**Tutor: Dr. D. Ricardo Romeral Ortega**

**Leganés, septiembre de 2010**



**Diseño de una solución de IP Trunking sobre red VPN  
entre múltiples sedes de un Contact Centre**

Autor: José Sánchez Navarro

Tutor: Dr. D. Ricardo Romeral Ortega

**EL TRIBUNAL**

Presidente: Dr. D. Manuel Urueña Pascual

Secretario: Dra. Dña. Iria Estévez Ayres

Vocal: Dr. D. José Ignacio García Souto

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 15 de septiembre de 2010 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

--

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

---

Índice de Figuras .....	7
Índice de Tablas .....	9
1. Introducción .....	5
2. Requisitos del Cliente .....	8
3. Tecnología y protocolos.....	13
3.1 MPLS .....	13
3.1.1 Arquitectura de red MPLS.....	14
3.1.2 Etiquetas MPLS.....	15
3.1.3 LDP.....	19
3.1.4 Operación de MPLS.....	21
3.1.5 QoS .....	23
3.1.6 Ingeniería de tráfico .....	26
3.1.7 Redes privadas virtuales.....	27
3.2 H.323.....	35
3.2.2 Componentes H.323.....	37
3.2.3 Arquitectura de red .....	40
3.2.4 Intercambio básico de mensajes en H.323.....	42
3.3 IP Trunking .....	45
4. Diseño de la Solución de Red.....	48
4.1 Planteamiento General de la Solución.....	48
4.2 Diseño de la Red de Datos.....	53
4.2.1 Consideraciones de diseño.....	53
4.2.2 Topología de la red MPLS del Operador.....	57
4.2.3 Data Centre Madrid.....	59
4.2.4 Data Centre Barcelona.....	64
4.2.5 Madrid I.....	67
4.2.6 Madrid II.....	70

4.2.7	Madrid III.....	72
4.2.8	Madrid IV. ....	73
4.2.9	Madrid V. ....	75
4.2.10	Barcelona I.....	77
4.2.11	Barcelona II.....	79
4.2.12	Barcelona III.....	81
4.2.13	Barcelona IV. ....	83
4.2.14	Sevilla I. ....	84
4.2.15	Alicante I.....	88
4.2.16	Tenerife I.....	91
4.2.17	Las Palmas I. ....	92
4.2.18	Badajoz I.....	94
4.2.19	Asturias I.....	96
4.2.20	Equipamiento de cliente para el acceso a la VPN-MPLS. ....	98
4.3	Diseño de la Solución de Voz. ....	103
4.3.1	Plataforma de voz del Operador. ....	103
4.3.2	Infraestructura de voz del cliente. ....	106
4.3.3	Diseño de la solución.....	107
4.3.4	Operativa de la solución.....	115
4.3.5	Calidad de servicio.....	120
5.	Conclusiones y Trabajos Futuros.....	125
	Glosario	127
	Bibliografía.....	130
	Referencias Web .....	132
	Anexo A: Esquema de la Solución Completa.....	134
	Anexo B: Presupuesto.....	137

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1:</b>	Esquema de la red original del cliente. ....	9
<b>Figura 2:</b>	Arquitectura de red MPLS. ....	15
<b>Figura 3:</b>	Etiqueta MPLS genérica. ....	16
<b>Figura 4:</b>	Etiqueta MPLS sobre ATM. ....	16
<b>Figura 5:</b>	Asignación de etiquetas MPLS. ....	18
<b>Figura 6:</b>	Formato de mensajes LDP. ....	20
<b>Figura 7:</b>	Ejemplo de operación de MPLS. ....	23
<b>Figura 8:</b>	MPLS y servicios diferenciados. ....	25
<b>Figura 9:</b>	Arquitectura de una red VPN MPLS. ....	29
<b>Figura 10:</b>	Ejemplo de pila de protocolos H.323. ....	36
<b>Figura 11:</b>	Arquitectura básica de una red H.323. ....	40
<b>Figura 12:</b>	Estructura de un dominio administrativo H.323.....	40
<b>Figura 13:</b>	Arquitectura H.323 con comunicación RAS entre dominios. ....	41
<b>Figura 14:</b>	Arquitectura H.323 con comunicación H.225 Annex G entre dominios. ....	41
<b>Figura 15:</b>	Ejemplo de llamada H.323.....	43
<b>Figura 16:</b>	Ejemplo de solución basada en <i>IP Trunking</i> . ....	46
<b>Figura 17:</b>	Arquitectura de la solución global para el cliente. ....	52
<b>Figura 18:</b>	Arquitectura de interconexión de los nodos de red del operador. ....	55
<b>Figura 19:</b>	Topología con doble PE. ....	58
<b>Figura 20:</b>	Topología con PE simple.....	59
<b>Figura 21:</b>	Esquema de red Data Centre Madrid. ....	64
<b>Figura 22:</b>	Esquema de red Data Centre Barcelona. ....	66

<b>Figura 23:</b>	Esquema de red Madrid I. ....	70
<b>Figura 24:</b>	Esquema de red Madrid II. ....	72
<b>Figura 25:</b>	Esquema de red Madrid III. ....	73
<b>Figura 26:</b>	Esquema de red Madrid IV. ....	75
<b>Figura 27:</b>	Esquema de red Madrid V. ....	77
<b>Figura 28:</b>	Esquema de red Barcelona I. ....	79
<b>Figura 29:</b>	Esquema de red Barcelona II. ....	81
<b>Figura 30:</b>	Esquema de red Barcelona III. ....	82
<b>Figura 31:</b>	Esquema de red Barcelona IV. ....	84
<b>Figura 32:</b>	Esquema de red Sevilla I. ....	88
<b>Figura 33:</b>	Esquema de red Alicante I. ....	90
<b>Figura 34:</b>	Esquema de red Tenerife I. ....	92
<b>Figura 35:</b>	Esquema de red Las Palmas I. ....	94
<b>Figura 36:</b>	Esquema de red Badajoz I. ....	96
<b>Figura 37:</b>	Esquema de red Asturias I. ....	98
<b>Figura 38:</b>	Arquitectura de la plataforma de voz existente. ....	105
<b>Figura 39:</b>	Arquitectura de la plataforma de voz para la solución del cliente. ....	114
<b>Figura 40:</b>	Esquema de grupos de C-LAN. ....	117
<b>Figura 41:</b>	Arquitectura lógica de la solución de voz. ....	120



## ÍNDICE DE TABLAS

---

<b>Tabla 1:</b>	Ejemplo de contenido de una LIB. ....	22
<b>Tabla 2:</b>	Nodos de la red del operador implicados en la solución. ....	56
<b>Tabla 3:</b>	Configuración de los <i>routers</i> Cisco 7204. ....	100
<b>Tabla 4:</b>	Interfaces para los <i>routers</i> Cisco 7204 de los Data Centre. ....	101
<b>Tabla 5:</b>	Configuración de los <i>routers</i> Cisco 3845. ....	102
<b>Tabla 6:</b>	Interfaces para los <i>routers</i> Cisco 3845 en cada una de las sedes. ....	102
<b>Tabla 7:</b>	Tráfico de voz (sesiones simultáneas) por sede. ....	108
<b>Tabla 8:</b>	Mapeo <i>IP Precedence</i> con CoS.....	121
<b>Tabla 9:</b>	Caudal de tráfico de voz por sede. ....	122
<b>Tabla 10:</b>	Coste de la construcción de los enlaces de acceso. ....	140
<b>Tabla 11:</b>	Coste del <i>router</i> Cisco 3845. ....	140
<b>Tabla 12:</b>	Coste del <i>router</i> Cisco 7204. ....	140
<b>Tabla 13:</b>	Coste en equipamiento de cliente.....	141
<b>Tabla 14:</b>	Coste de ampliación de la plataforma de voz. ....	142
<b>Tabla 15:</b>	Coste humano de la ejecución del proyecto. ....	142
<b>Tabla 16:</b>	Costes indirectos del proyecto.....	142
<b>Tabla 17:</b>	Coste total del proyecto .....	143



## Agradecimientos

Tras un largo trayecto al fin ha llegado la ansiada última estación, ese último paso que refleja el resultado de años de aprendizaje, esfuerzo, ilusiones, alegrías y no pocos momentos duros. Muchas cosas han pasado durante todo este tiempo y la lista de personas que en gran medida son artífices de este momento no ha parado de crecer, y una vez superado este hito seguirán estando ahí en una u otra manera. A todos ellos mi más sinceras GRACIAS.

A mis padres, José y Robledo, que durante toda su vida han trabajado para alcanzar este objetivo, dándome la posibilidad de elegir mi camino y apoyándome en todo momento.

A mi mujer, Paloma, que desde su llegada a mi vida hace cuatro años no ha dejado de apoyarme y empujarme para llegar hasta aquí, con su comprensión, sus ánimos y todo su cariño para hacer más llevadero el camino.

Al diminuto de la casa, Iván, que con su corta vida no sabe lo que es un Proyecto ni qué es lo que hacía su padre mientras él dormía por las noches pero que con su sonrisa picarona, dejando entrever sus primeros dientecillos, me ha dado las alas para dar el impulso final.

A mi hermana, Gema, compañera de horas de estudio durante muchos años y también de diversión, confidencias y aventuras. Y a mi sobrina, Esther, que dio sus primeros indicios de querer nacer durante una clase de Estadística, esa clase me la perdí pero a cambio me ha dado años de satisfacciones y entretenimiento viéndola crecer.

A mis compañeros y sobre todo amigos de la carrera, que durante muchos años han sido mi segunda familia compartiendo muchos momentos, situaciones y trabajo en común. Por fortuna la lista es grande, y es posible que quede gente en el tintero aunque todos ellos saben

lo que han ayudado para llegar hasta aquí, especial mención para Sara, Iván, Elisa, Patri, Ricardo, Emilio, Carlos, Chus, Pablo, Guillermo, Yolanda, Sergio, Arancha, José Emilio,...

A mi tutor, Ricardo, que además de su inestimable ayuda y a sus continuos ánimos ha demostrado una paciencia infinita durante todo este tiempo.

Como no a mis amigos, que siempre has estado ahí tanto para la carrera como para el resto de los acontecimientos de mi vida.



# Capítulo 1. Introducción

# 1. INTRODUCCIÓN

En un escenario económico marcado por la globalización comienza a ser habitual que las empresas, incluso de mediano tamaño, establezcan varias sedes distribuidas geográficamente en pro del abaratamiento de costes o de la satisfacción de la demanda del mercado en el que operan.

Esta distribución requiere habitualmente de una potente infraestructura de telecomunicaciones que proporcione una serie de características:

- Intercambio fluido de información entre sedes, a través de múltiples medios.
- Interacción entre sedes como si de una única se tratase.
- Facilidad de configuración, mantenimiento y escalabilidad.
- Ahorro de costes en las comunicaciones.

La evolución tecnológica experimentada durante las últimas décadas favorece la disponibilidad de soluciones de red que cumplan con estos requerimientos.

Por un lado tenemos la evolución de los protocolos de comunicaciones, con una tendencia cada vez mayor hacia el mundo IP, soportando servicios como la voz sobre IP, videoconferencia, computación distribuida, redes privadas virtuales, etc. y con ventajas como la movilidad, la disponibilidad o el alto grado de estandarización.

Y por otro lado nos encontramos con la evolución del hardware, que ha incrementado de forma exponencial sus capacidades permitiendo un rendimiento y velocidades cada vez más altos con un coste cada vez más reducido.

Es por tanto cada vez más habitual que las empresas demanden servicios y soluciones de red que permitan aprovechar las ventajas de estos avances, tanto a la hora de construir nuevas redes como de actualizar o ampliar las existentes, siendo en muchas ocasiones los propios operadores de telecomunicaciones quienes ofertan a sus clientes el diseño y la implementación de la red.

En línea con lo anterior el objeto de este Proyecto Fin de Carrera es el diseño de una solución de red a medida para una empresa de *Contact Centre*.

La empresa está constituida por múltiples sedes distribuidas geográficamente, interconectadas mediante una red basada en sus orígenes en conexiones punto a punto entre las sedes principales, y una red MPLS para el resto de las sedes. Por otro lado dispone de líneas POTS

(*Plain Old Telephone Service*), básicos y primarios para cubrir el servicio de telefonía, que es la base de su actividad principal.

Con el diseño de la solución de red se ha tratado de simplificar la estructura de la red original del cliente, unificando las tecnologías y aprovechando las sinergias proporcionadas por la tendencia hacia el mundo IP para canalizar todos los servicios por una única red.

Como resultado se ha creado una red en la que todas las sedes están interconectadas mediante una VPN altamente escalable, que permite incorporar nuevas sedes de forma rápida y sencilla.

Respecto a la telefonía se ha establecido una solución basada en ToIP (*Telephony over IP*), que además permite reutilizar parte del equipamiento de que dispone el cliente, simplificando toda la estructura de primarios y líneas de telefonía clásica con una reducción del coste.

La memoria de este proyecto se ha estructurado en 5 capítulos y 2 anexos, cuyo contenido se resume a continuación:

- En el capítulo 2 se describen los requisitos del cliente en los que se ha basado el diseño de la solución.
- En el capítulo 3 se realiza una introducción de las principales tecnologías involucradas en la solución proporcionada al cliente, mostrando sus principales características y arquitectura.
- En el capítulo 4 se expone el diseño de la solución, partiendo del planteamiento general de la solución hasta llegar al detalle del diseño de la solución propuesta, explicando el proceso de desarrollo y las decisiones adoptadas. Este capítulo se desglosa en dos partes principales, una para la solución de la red de datos y otra para la del servicio de voz.
- En el capítulo 7 se recogen las principales conclusiones obtenidas en la realización del Proyecto Fin de Carrera, así como las líneas de trabajo futuras que se pueden abrir a partir del mismo
- En el Anexo A se muestra el esquema de red de la solución completa. A lo largo del capítulo 4 se muestran esquemas parciales a medida que avanza el desarrollo de la solución, en este Anexo se recoge el esquema completo con todos los elementos de red involucrados.
- Finalmente, en el Anexo B se detalla el presupuesto del Proyecto.



## Capítulo 2. Requisitos del cliente

## 2. REQUISITOS DEL CLIENTE

La empresa CONTACT<sup>1</sup> proporciona servicios de Contact Centre a terceros, como campañas de telemarketing, servicios de atención al cliente, asistencia telefónica, etc.

Dispone de varios centros repartidos por el territorio nacional, y en los últimos años está en continua expansión mediante la adquisición de otras empresas o apertura de nuevos centros. En un futuro se plantea la apertura de centros en otros países.

Para el servicio de voz tiene un total de 180 primarios repartidos entre las distintas sedes, y contratados con diversos operadores.

El servicio de datos está cubierto por un triangulo de enlaces Fast Ethernet entre las sedes principales, de las que cuelgan otras sedes interconectadas también por enlaces Fast Ethernet. En algunas de las sedes dispone además de circuitos punto a punto de 2Mbps. Todos estos enlaces están contratados con el OPERADOR A, al que se ha solicitado una oferta de diseño e implementación de la nueva red.

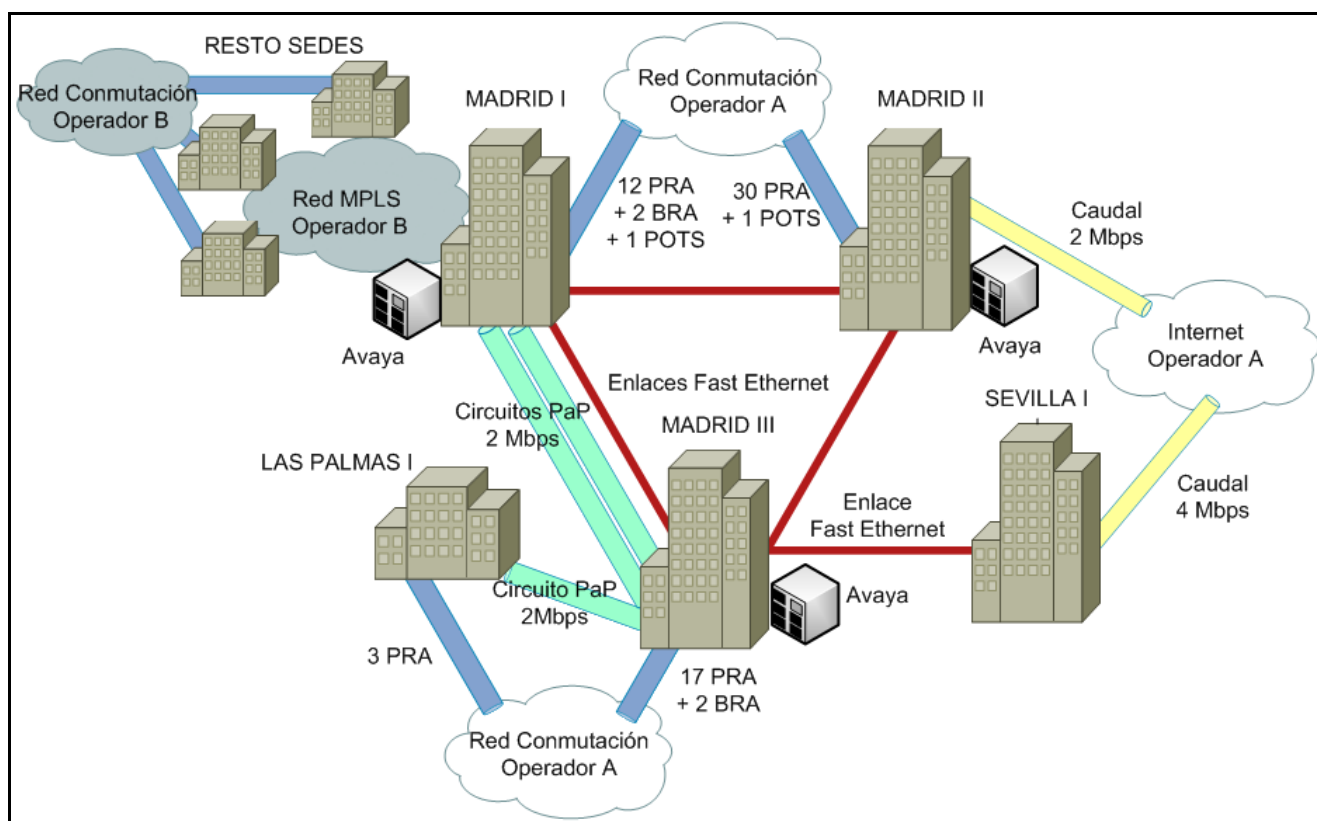
Las sedes secundarias están interconectadas mediante una red MPLS, a la que se encuentra conectada una de las sedes principales como punto de interconexión entre ambas redes. Esta red MPLS está contratada a un OPERADOR B.

Por último el servicio de acceso a internet lo proporcionan sendos enlaces desde dos de las sedes principales. Este servicio también está contratado con el OPERADOR A.

---

<sup>1</sup> Por motivos de confidencialidad los nombres reales del cliente, sedes del cliente, operadores de telecomunicaciones implicados y nodos de red han sido sustituidos por nombres ficticios.

El esquema de la red original del cliente sería el siguiente:



**Figura 1:** Esquema de la red original del cliente.

El cliente CONTACT ha solicitado el diseño de una nueva red, que soporte los servicios de voz y de datos para todas las sedes, cumpliendo los siguientes requisitos:

- La solución para la red de datos debe permitir la interconexión de las sedes a las que actualmente presta servicio el OPERADOR A, e incorporar las sedes del OPERADOR B (sustituyendo el servicio proporcionado por este).
- La solución proporcionada ha de ser lo suficientemente flexible como para permitir la incorporación de nuevas sedes o cese de las existentes, así como para soportar variaciones crecientes o decrecientes en los caudales de tráfico.
- Los accesos de todas las sedes deben estar redundados, con doble vía<sup>2</sup> y doble CPE.

<sup>2</sup> El término de doble vía corresponde a la terminología habitual utilizada por el cliente. Por doble vía se entiende que hay dos enlaces, con acometidas o puntos de entrada al edificio donde se ubica la sede por sitios distintos, y que físicamente sigan trayectos diferentes (por ejemplo que las fibras ópticas transcurran por canalizaciones y calles diferentes).

- Se solicita la creación de dos *Data Centre*, conectados a esta red de datos, donde se concentraría el tráfico de voz para la entrega desde/hacia el operador. Estos data centres deben estar ubicados en puntos a los que cualquier operador pueda tener acceso.
- Para el servicio de voz se solicita el paso a una solución de VoIP (*Telephony over IP*), con entrega de todo el tráfico de voz desde y hacia el operador de comunicaciones en IP.
- El tráfico de voz se concentrará en dos puntos (que serán los Data Centres), interconectados con el operador, desde los que posteriormente se redistribuirá al resto de las sedes haciendo uso de la red de datos.
- El cliente dispone de centralitas Avaya, mantenidas por un integrador, fácilmente actualizables para ser utilizadas con H.323 por lo que requiere que la comunicación con la plataforma de voz del operador se realice utilizando este protocolo.
- La red debe estar dimensionada para soportar hasta 3000 llamadas de voz simultáneas.
- Debe considerarse la posibilidad de mantener toda la numeración geográfica inicial del cliente, incluyendo la que tiene contratada con los primarios de otros operadores, lo que implicaría la portabilidad de la numeración al nuevo acceso IP.
- No se solicita expresamente en los requisitos iniciales pero la solución de red debe considerar la posibilidad de albergar también el servicio de acceso a Internet (que en la red original se proporciona de manera distribuida mediante enlaces con las sedes principales).

Las sedes a interconectar y los requisitos de dimensionamiento para la red de datos son los siguientes:

- Data Centre Madrid. Accesos con capacidad de 1Gbps y 900 Mbps de caudal<sup>3</sup>.
- Data Centre Barcelona. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 400 Mbps de caudal.
- Sede Madrid I. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 100 Mbps de caudal.
- Sede Madrid II. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 100 Mbps de caudal.
- Sede Madrid III. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 200 Mbps de caudal.
- Sede Madrid IV. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 200 Mbps de caudal.
- Sede Madrid V. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 200 Mbps de caudal.
- Sede Barcelona I. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 50 Mbps de caudal.
- Sede Barcelona II. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 50 Mbps de caudal.
- Sede Barcelona III. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 100 Mbps de caudal.
- Sede Barcelona IV. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 30 Mbps de caudal.
- Sede Sevilla I. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 100 Mbps de caudal.
- Sede Alicante I. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 100 Mbps de caudal.
- Sede Tenerife I. Accesos con capacidad de 34 Mbps y 26 Mbps de caudal.
- Sede Las Palmas I. Accesos con capacidad de 34 Mbps y 26 Mbps de caudal.
- Sede Badajoz I. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 100 Mbps de caudal.
- Sede Asturias I. Accesos con capacidad de 1 Gbps y 100 Mbps de caudal.

---

<sup>3</sup> Se define como caudal el tráfico de datos que se le permitirá cursar al cliente por cada uno de los enlaces, limitando a nivel de red la capacidad máxima que permitiría el enlace.

## Capítulo 3. Tecnología y protocolos

### 3. TECNOLOGÍA Y PROTOCOLOS

En este apartado se proporciona una visión introductoria de las principales tecnologías y protocolos empleados en la solución técnica ofrecida al cliente.

#### 3.1 MPLS

MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) es un estándar del IETF definido en la RFC 3031. Surge como nueva una tecnología de transporte de datos que trata de combinar la flexibilidad y escalabilidad de las tecnologías de capa 3 con el rendimiento y fiabilidad de las de capa 2, siendo un protocolo ubicado entre ambas capas.

El estándar MPLS viene motivado por la necesidad de dotar a las redes IP de nuevas capacidades, permitiendo mejoras y nuevas funcionalidades, destacando:

- Ingeniería de tráfico.
- Mecanismos de protección y recuperación frente a fallos.
- Redes privadas virtuales.
- Soporte de QoS para servicios que requieren flujos de datos de tiempo real.
- Integración de las redes IP con distintas tecnologías de nivel 2.

Además tiene una serie de características fundamentales:

- Multiprotocolo. Es aplicable a cualquier protocolo de capa de red, e independiente de la capa de enlace utilizada.
- Conmutación por etiquetas. El reenvío (*forwarding*) de los paquetes se realiza basándose en etiquetas con las que éstos son marcados. Las etiquetas contienen información de encaminamiento y atributos de servicio.
- Se desacopla la función de reenvío con la de encaminamiento (*routing*).
- Tiene dos niveles funcionales en la red: frontera (*edge*) y núcleo (*core*).

### 3.1.1 Arquitectura de red MPLS.

Una red MPLS consta fundamentalmente de los siguientes elementos:

- **LSR** (*Label Switching Router*). Elemento encargado de conmutar las etiquetas de los paquetes e intercambiar información con otros LSR de la red para establecer las asociaciones entre flujos y etiquetas.
- **LER** (*Label Edge Router*). Constituye el elemento de entrada y salida de la red MPLS, y se encuentra en la frontera de la misma. Se suele distinguir entre el equipo de entrada (*Ingress*) y el de salida (*Egress*).

A la entrada de la red se realiza la función de procesar los paquetes, seleccionarlos y aplicar la etiqueta que les corresponda.

En la salida de la red se encarga de suprimir las etiquetas y reenviar los paquetes hacia el destino utilizando el reenvío de la capa 3.

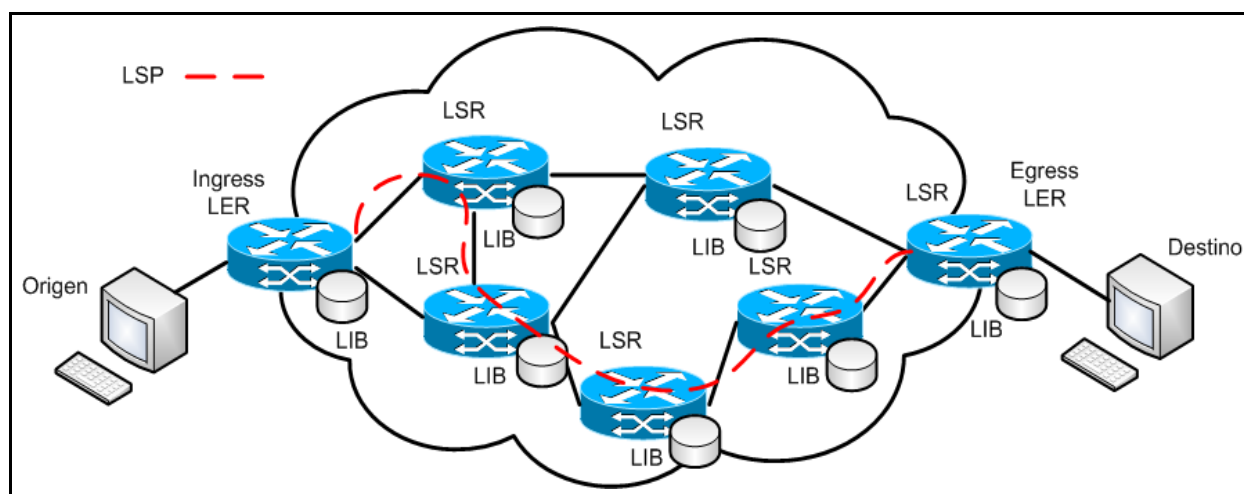
- **FEC** (*Forwarding Equivalent Class*). Conjunto de paquetes que son tratados de la misma forma en el proceso de reenvío, siguiendo la misma ruta con independencia de los destinos finales.
- **LSP** (*Label Switched Path*). Camino que se establece dentro de la red MPLS para todo el tráfico de una misma FEC. Todos los paquetes identificados por esa FEC tendrán el mismo encaminamiento a través de la red.

El LSP define un camino unidireccional, por lo que para el envío de tráfico bidireccional será necesario establecer dos LSP, uno para cada sentido de la comunicación. Esta ruta está definida antes de que comience la transmisión de datos.

- **LIB, LFIB** (*Label Forwarding Information Base*). Tabla de etiquetas existente en cada LSR, permite determinar en función de la etiqueta de entrada la etiqueta de salida y el interfaz por el que ha de reenviar el paquete.



El siguiente esquema muestra la arquitectura de una red MPLS:



**Figura 2:** Arquitectura de red MPLS.

### 3.1.2 Etiquetas MPLS.

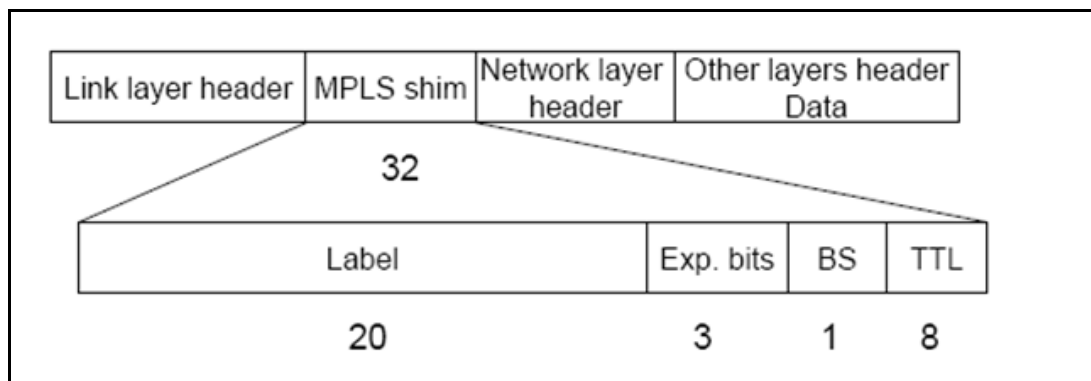
La etiqueta MPLS es un identificador dentro de la cabecera de los paquetes que permite clasificar un paquete con respecto a la FEC a la que pertenece. Esta asociación FEC-etiqueta puede no ser unívoca, y puede utilizarse la misma etiqueta para diferentes FECs (por ejemplo para darle el mismo tratamiento a diferentes FEC dentro de un segmento de la red), o pueden asociarse varias etiquetas para la misma FEC (para realizar reparto de carga, por ejemplo).

Se pueden utilizar dos opciones para el encapsulado de los datos etiquetados, utilizando las etiquetas genéricas definidas por el protocolo o el encapsulado mediante campos disponibles en las cabeceras del nivel de enlace o del nivel de red.

En el caso de utilizar etiquetas genéricas estas se insertan entre el encabezado de capa 2 y el encabezado de capa 3, y está compuesta por los campos:

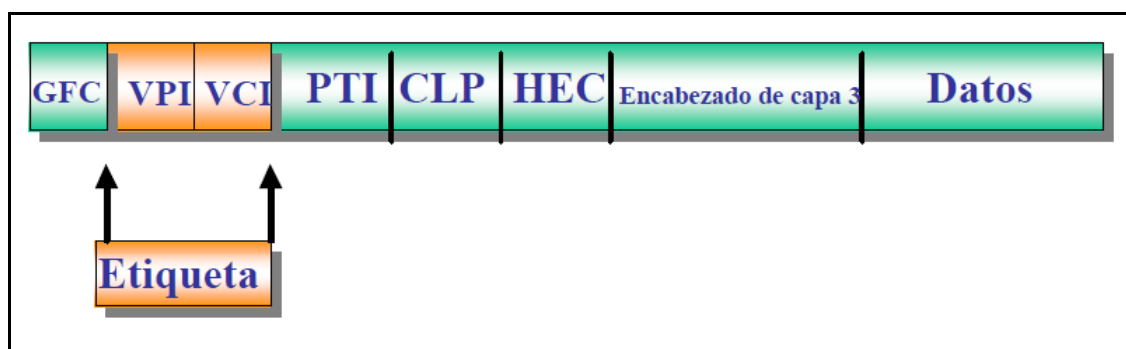
- **Label** (20 bits): identificador de la etiqueta.
- **Exp** (3 bits): bits experimentales reservados para uso futuro o como identificador de la QoS.
- **BS** (1 bit): se utiliza para el apilado de etiquetas. Cuando el campo BS (*Bottom stack*) tiene valor 0 indica que hay más etiquetas añadidas, con valor 1 indica que ya no hay más etiquetas y estamos al final de la pila.

- **TTL** (8 bits): tiempo de vida, que tiene la misma funcionalidad que en IP. Se va decrementando en cada *router* y si llega a valor 0 se descarta.



**Figura 3:** Etiqueta MPLS genérica.

Un ejemplo de utilización de campos existentes lo tenemos en ATM, donde se mapea la etiqueta MPLS en los campos VPI/VCI de la cabecera ATM, o en *Frame Relay* donde se utiliza el campo DLCI.



**Figura 4:** Etiqueta MPLS sobre ATM.

En las redes IP tradicionales los paquetes son reenviados de un *router* a otro. En cada nodo se examina la cabecera de los paquetes y en función del análisis de la cabecera y del protocolo de encaminamiento se decide el *router* para el siguiente salto.

De esta forma tanto el análisis como la decisión de reenvío se hacen de forma independiente para cada paquete y en cada nodo, lo que plantea un hándicap en términos de rendimiento.

En el caso de MPLS todo el reenvío se realiza basándose en etiquetas, por lo que una vez que el paquete es asignado a una FEC (cuando el paquete entra en la red) el análisis del encabezado ya no se hace en el resto de los *routers*. Es función del LSR asegurar que cada etiqueta de entrada se puede interpretar unívocamente

El significado de las etiquetas puede tener tres alcances:

- Local en el interfaz. El espacio de etiquetas es único para un interfaz específico. Es el más utilizado habitualmente.
- Local en el nodo. El espacio de etiquetas tiene significado y es único dentro de un LSR. Se define un espacio más amplio que es utilizado por todos los interfaces del LSR.
- Global. Se utiliza un espacio de etiquetas único para todos los elementos de la red (LSRs e interfaces dentro de los LSRs).

Habitualmente las etiquetas tienen significado local en cada interfaz, y es función del LSR asegurar que cada etiqueta de entrada se puede interpretar unívocamente. También se puede

Las etiquetas se pueden apilar para establecer jerarquía de etiquetas, e incluso se puede realizar una operación de *swap*, sustituyendo varias etiquetas que identifican un mismo FEC por una única.

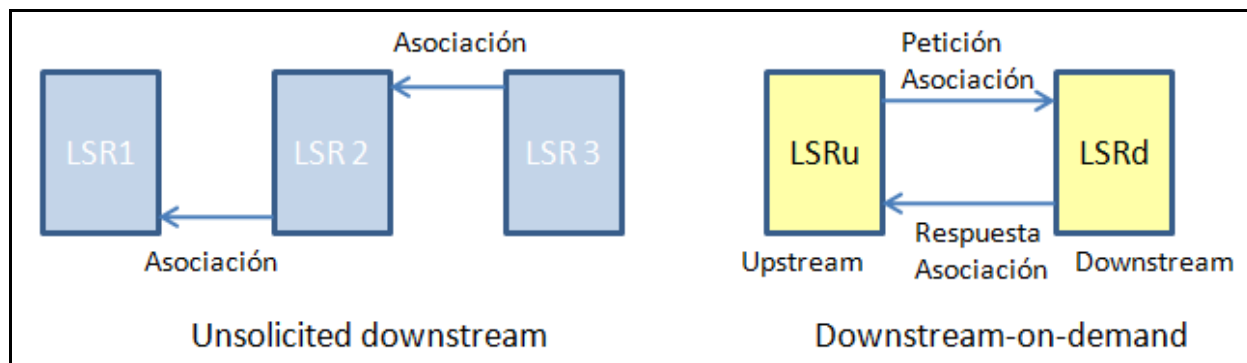
La elección del camino a seguir por los paquetes en la red puede hacerse de dos formas:

- Enrutamiento *Hop by hop*. Cada LSR elige de forma independiente el próximo salto para cada FEC. Los LSRs pueden soportar varios protocolos de enrutamiento como OSPF, BGP,...
- Enrutamiento explícito. El LSR de entrada especifica la lista de nodos por la que pasarán los paquetes asociados a cada FEC.

MPLS define dos mecanismos para la asignación de etiquetas a una FEC: *unsolicited-downstream* y *downstream-on-demand*.

Mediante *unsolicited-downstream* cuando el LSR establece una asociación FEC-etiqueta la distribuye a otros LSRs aunque no lo hayan solicitado.

En el caso de *downstream-on-demand* el LSR pide explícitamente al nodo siguiente la asociación FEC-etiqueta.



**Figura 5:** Asignación de etiquetas MPLS.

A su vez el control de la distribución de etiquetas puede hacerse de forma independiente u ordenada.

Con control independiente cada *router* MPLS decide la asociación FEC-etiqueta, se la comunica a los nodos ascendentes y la anota en su tabla de etiquetas como entrada.

Mediante el control ordenado cada *router* espera a recibir la etiqueta del nodo descendente, excepto si se trata del *router* de salida (*egress*), y la anota en la tabla de etiquetas como salida. A su vez asigna una etiqueta local a la FEC, la anota en la tabla como entrada y comunica la asociación a los *routers* descendentes.

También existen diversos métodos de retención de etiquetas, liberal y conservador.

Con el método liberal el LSR mantiene todas las etiquetas que recibe, aunque algunas no sean válidas o procedan de LSRs que no son el siguiente salto para una determinada FEC, lo que permite una adaptación más rápida a los cambios de encaminamiento a costa de requerir una mayor capacidad para el almacenamiento de etiquetas.

Utilizando el método conservativo el LSR sólo mantiene las asociaciones de etiquetas que son válidas para el siguiente salto, con lo que a priori el rendimiento es mayor y se necesita menor capacidad de almacenamiento para las etiquetas, pero la adaptación frente a los cambios de encaminamiento es más lenta.

Los protocolos de distribución de etiquetas son utilizados por el LSR para informar al resto de los LSRs de que ha establecido una asociación FEC-etiqueta.

MPLS no establece un protocolo específico para la distribución de etiquetas. Se pueden utilizar protocolos existentes como BGP o RSVP, extendidos para añadir la información de la etiqueta dentro de los mensajes del protocolo (mediante *piggyback*); o bien nuevos protocolos creados al efecto como es el caso de LDP (*Label Distribution Protocol*), definido por el IETF.

### 3.1.3 LDP

LDP (*Label Distribution Protocol*) constituye un protocolo de control para distribuir la asociación de etiquetas a los LSRs. Se emplea para mapear las FECs a las etiquetas, a partir de las cuales se establecen los LSPs.

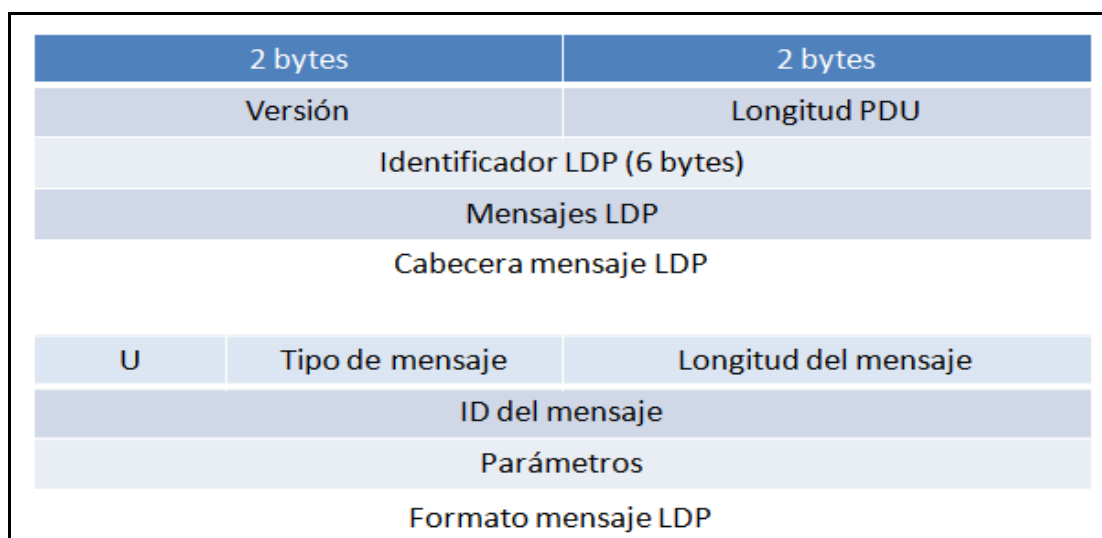
Las sesiones LDP se establecen siempre entre parejas de LSRs, conocidas como *LDP Peers*, no necesariamente adyacentes. Para el establecimiento de sesiones utiliza TCP, e incluye mecanismos para el descubrimiento de *LDP Peers* potenciales.

Es un protocolo escalable, de forma que la distribución de etiquetas es incremental. Cuando hay pocas etiquetas utiliza asignación basada en *downtream-on-demand* y métodos de retención conservativos. Por el contrario cuando hay muchas etiquetas la asignación es *unsolicited-downstream* y la retención liberal.

Se definen *cuatro* tipos de mensajes LDP:

- Descubrimiento (*Discovery messages*). Utilizados para señalar la presencia de LSRs en la red. Los mensajes se envían por difusión sobre UDP.
- Sesión (*Session messages*). Empleados para el establecimiento, mantenimiento y liberación de sesiones LDP (sesiones entre *LDP Peers*). Los mensajes se envían sobre TCP.
- Anuncio (*Advertisement messages*). Para crear, cambiar, o borrar las asociaciones FEC-etiqueta.
- Notificación (*Notification messages*). Proporcionan información de avisos y señalización de errores.

Los mensajes *LDP* tienen la siguiente estructura:



**Figura 6:** Formato de mensajes LDP.

Compuestos por los siguientes campos:

- **Versión:** Número de versión del protocolo LDP.
- **Longitud PDU:** longitud del paquete excluyendo los campos de versión y longitud de PDU.
- **Identificador LDP:** especifica el espacio de etiquetas del LSR para el que aplica el PDU. Los primeros 4 octetos codifican la dirección IP del LSR y los dos siguientes el espacio de etiquetas dentro del LSR.
- **Mensaje LDP:** mensaje LDP enviado.

El mensaje LDP consta de los siguientes campos:

- **U:** bit de mensaje desconocido.
- **Tipo de mensaje** (5 bits): cuál de los distintos mensajes LDP se está enviando.
- **Longitud del mensaje** (16 bits): longitud del mensaje en octetos
- **ID del mensaje** (32 bits): valor utilizado para identificar el mensaje.
- **Parámetros** (longitud variable): cadena de parámetros obligatorios y opcionales asociados al mensaje, codificados en formato TLV (*Type, Length, Value*).

Posteriormente surgió el protocolo CR-LDP (*Constraint Based Routing LDP*) como extensión a LDP orientado a proporcionar mecanismos de ingeniería de tráfico y QoS.

*Constraint Based Routing* es un algoritmo de encaminamiento restringido, y estado permanente, que calcula los caminos en función de los recursos reservados y sin tener en cuenta la carga de los enlaces. Utiliza el mismo formato de mensajes que LDP añadiendo parámetros adicionales.

### **3.1.4 Operación de MPLS**

Para transportar los paquetes de datos a través de una red MPLS es necesario llevar a cabo una serie de pasos:

- Descubrimiento de la topología de la red.
- Creación y distribución de etiquetas.
- Creación de los LSPs a partir del intercambio de etiquetas.
- Reenvío de paquetes.
- Eliminación de etiquetas a la salida de la red.

#### **Descubrimiento de la topología.**

El descubrimiento de la topología de la red se hace utilizando la propia información de encaminamiento que manejan los protocolos estándar como OSPF, RIP, BGP, etc.

A partir de la información proporcionada por estos protocolos se construyen las tablas de encaminamiento en los LSRs.

#### **Creación y distribución de etiquetas.**

Los LSRs establecen las asociaciones FEC-etiqueta y construyen sus tablas (LIBs) antes de que comience el envío de tráfico. Para ello intercambian información de las asociaciones e información de características de tráfico o capacidades MPLS mediante protocolos de distribución de etiquetas como LDP.

El contenido de las tablas establece el mapeo entre una etiqueta y un FEC, de forma que en función del interfaz y la etiqueta de entrada se puede obtener el interfaz, la etiqueta de salida y

el siguiente salto. Las entradas de la tabla son actualizadas cada vez que se establece una nueva asociación FEC-etiqueta.

La siguiente tabla muestra un ejemplo de la información de una LIB:

Puerto Entrada	Etiqueta Entrada	Puerto Salida	Etiqueta Salida	Siguiente Salto
1	25	3	5	LSR C
2	100	5	6	LSR A
3	10	6	7	LSR C

**Tabla 1:** Ejemplo de contenido de una LIB.

### Creación de los LSPs

Los LSPs son creados en dirección inversa a la creación de entradas en las LIBs. El LER de entrada a la red MPLS utiliza la información de las tablas para encontrar cuál es el próximo salto y con ello la etiqueta asociada a una determinado FEC.

La obtención de dicha asociación dependerá del método de distribución de etiquetas utilizado:

- Con *downstream on demand* el LER solicitará al siguiente salto la información de la etiqueta asociada a la FEC.
- Con *unsolicited downstream* puede disponer ya de dicha información de los anuncios de asociación FEC-etiqueta recibidos de otros LSRs.

En los saltos siguientes si el LSR no tuviera información de la etiqueta de salida asociada a una FEC la solicitaría al LSR del siguiente salto, y así sucesivamente hasta llegar al LER de salida de la red MPLS.

### Reenvío de paquetes.

Cuando un paquete entra en la red el LER de entrada podría no tener ninguna etiqueta para ese paquete. En ese caso tendría que crear un LSP para el FEC al que corresponde el paquete, siguiendo el procedimiento indicado en el punto de creación de LSPs.

Si dispone de la etiqueta el LER de entrada la inserta en el paquete y la reenvía al LSR del primer salto. A partir de ese punto cada LSR examina la etiqueta del paquete recibido, la sustituye por la etiqueta de salida y la reenvía hacia el LSR del siguiente salto por el interfaz de salida especificado en la LIB.



### Eliminación de etiquetas a la salida.

Una vez que el paquete llega al LER de salida este elimina la etiqueta, ya que el paquete está saliendo de la red MPLS, y lo entrega al destino.

El siguiente gráfico muestra el esquema de funcionamiento de la una red MPLS y los flujos de información:

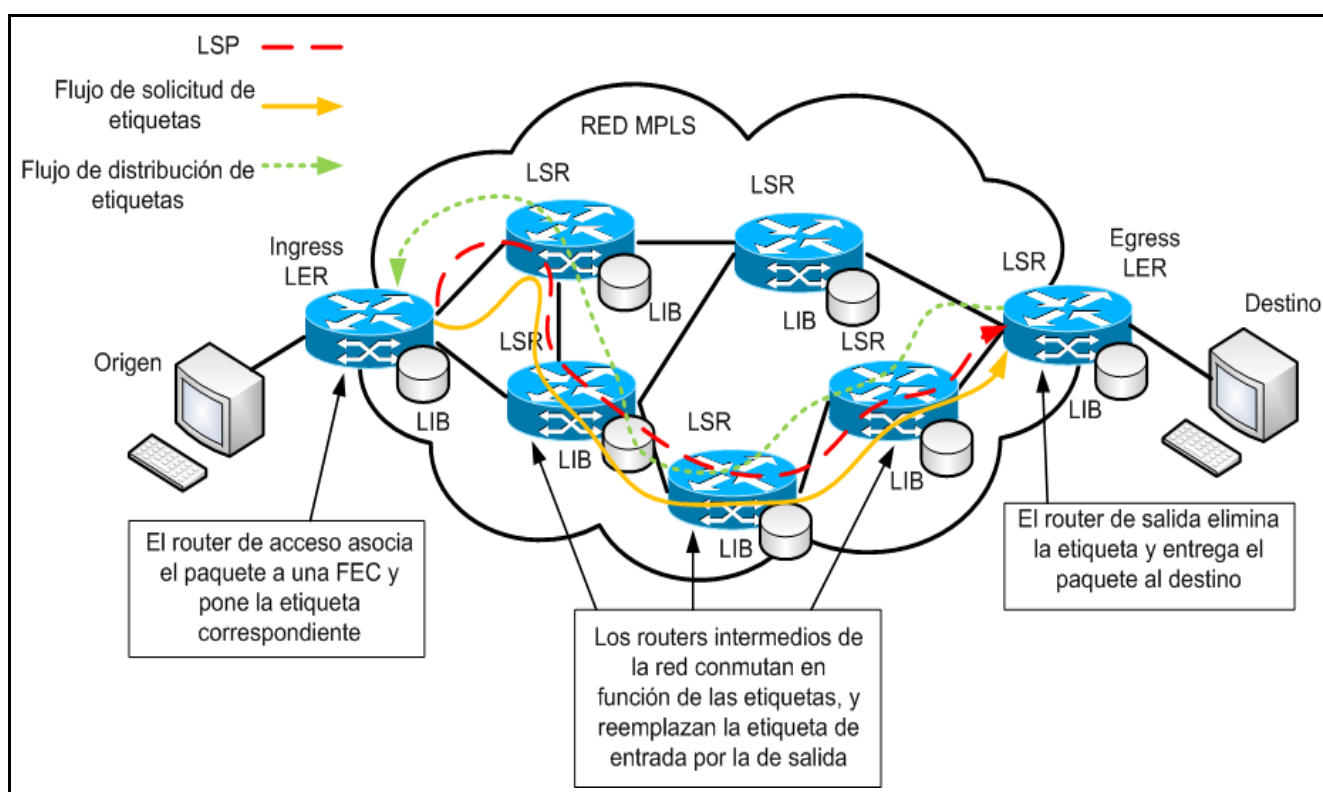


Figura 7: Ejemplo de operación de MPLS.

### 3.1.5 QoS

MPLS está diseñado para poder cursar tráfico de servicios diferenciados utilizando el modelo del protocolo *Diffserv* del IETF.

Tanto MPLS como *Diffserv* siguen el mismo modelo de operación, agregando el tráfico en los routers de acceso y aplicando el mismo tratamiento a los flujos agregados en los routers de tránsito.

En *Diffserv* el tráfico se diferencia a la entrada de la red por clase de servicio, y se marca utilizando el campo DSCP (*Diffserv Code Point*), creando así flujos de paquetes que recibirán el mismo tratamiento en la red en cuando a QoS. Este tratamiento viene determinado por lo que

se denomina PHB (*Per Hop Behaviour*) y contempla conformado del tráfico, políticas de encolado y descarte, planificación del servicio, etc.

MPLS se adapta perfectamente a este modelo ya que el encaminamiento se realiza en función de las etiquetas y las clases de servicio se pueden mapear incluyendo la información del DSCP dentro de la etiqueta.

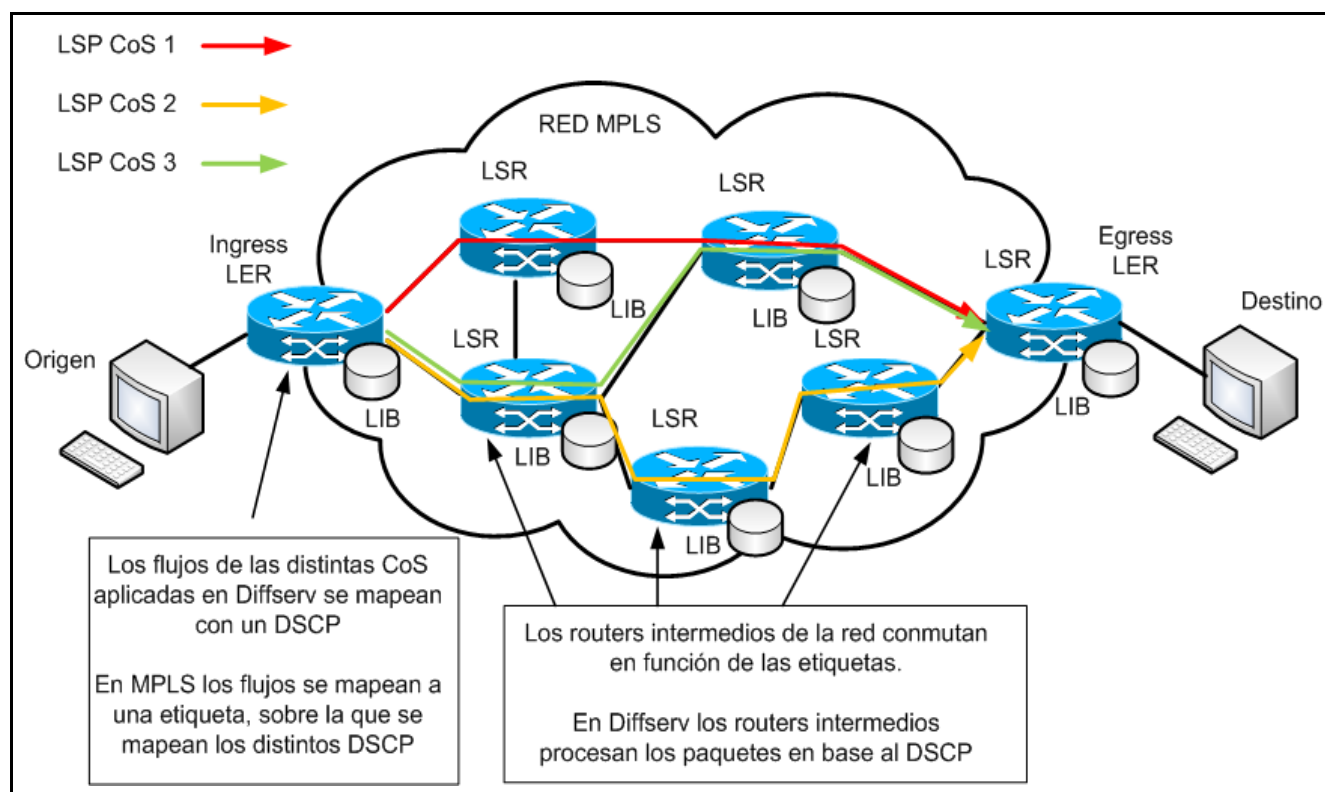
Se pueden definir dos tipos de trayectos LSP en función de cómo se haga este mapeo:

- E-LSP. El DSCP se mapea en el campo *Exp* de la etiqueta. Permite mapear hasta 8 clases de servicio por cada trayecto.
- L-LSP. El DSCP se mapea directamente en el valor de la etiqueta. En este caso el tratamiento a aplicar al flujo se mapea en el valor de la etiqueta y la prioridad de descarte en el campo *Exp*.

De esta forma MPLS puede transportar y tratar distintas clases de tráfico operando de dos formas distintas:

- El tráfico que circula por un determinado LSP se puede asignar a diferentes colas de salida en cada salto utilizando los bits del campo *Exp*.
- Los LER pueden establecer múltiples LSP, cada uno de ellos con distintas prestaciones, garantía de tráfico, etc. enviando el tráfico por unos u otros en función de la calidad de servicio que se quiera proporcionar.

La estructura del modelo sería la siguiente:



**Figura 8:** MPLS y servicios diferenciados.

Otra alternativa para proporcionar calidad de servicio sobre la red MPLS es la integración con el protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*). RSVP constituye el único método que permite a las aplicaciones solicitar servicios garantizados a través de la red mediante la reserva de recursos.

La integración con MPLS opera de la siguiente manera:

- El emisor envía al receptor un mensaje PATH de RSVP, que circula a través de un trayecto establecido dentro de la red MPLS.
- El receptor responde con el mensaje RESV de RSVP que será tratado por los *routers* de acceso a la red MPLS creando un LSP que cumpla los requisitos de QoS.

### 3.1.6 Ingeniería de tráfico

El objetivo fundamental de la ingeniería de tráfico es controlar la distribución del tráfico por la red, adaptando los flujos de datos a los recursos físicos disponibles en la red. Lo que se pretende es optimizar la utilización de los recursos, evitando la existencia de puntos de la red infrautilizados o saturados.

Los protocolos de encaminamiento de las redes IP tradicionales basan el cálculo de las rutas en la búsqueda del camino más corto, que puede estar determinado por el menor número de saltos o el menor coste dependiendo del protocolo, con lo que puede haber rutas que estén infrautilizadas.

La ingeniería de tráfico en este caso se realiza traspasando parte de los flujos de los enlaces más cargados a los menos congestionados, aunque estén fuera del camino más corto, a base de modificar la métrica de los enlaces. O bien mediante reparto de carga en los routers sobre rutas de distinto coste, lo que implica que los routers deben tener información de los recursos disponibles en todos los enlaces.

En el caso de las redes MPLS la ingeniería de tráfico es sencilla de realizar, ya que la red permite crear rutas explícitas definiendo el camino exacto por el que pasa un LSP.

Existen dos formas de operar con rutas explícitas dentro de la red MPLS. La más sencilla es que el administrador de la red configure determinados LSPs para servicios específicos, estableciendo distintos niveles de calidad en función de la ruta a seguir.

La otra forma es el establecimiento y mantenimiento de las rutas explícitas (túneles) de forma automática desde los *routers* MPLS de acceso. En este caso es necesario disponer de una base de datos en cada *router* de la red MPLS con información de los recursos disponibles en la red, utilizando protocolos de encaminamiento de control de estado con capacidades de ingeniería de tráfico (OSPF-TE), para nutrirse de información.

En este caso se requieren también protocolos para establecer el camino, como RSVP-TE ó CR-LDP.

Otra aplicación de la ingeniería de tráfico sobre las redes MPLS es la protección y recuperación frente a fallos en la topología. Esta función se implementa estableciendo túneles de backup a utilizar en caso de fallo del túnel principal.

### 3.1.7 Redes privadas virtuales.

VPN (*Virtual Private Network*) es una tecnología de red que permite extender la red local sobre una red pública o de terceros, interconectando múltiples emplazamientos con la seguridad y las funcionalidades de una red privada de forma que se comuniquen como si todos estuvieran ubicados dentro de una misma red local.

La filosofía de las VPN es que los diferentes emplazamientos con infraestructura de red privada se interconecten entre sí utilizando la red de *core* del operador de telecomunicaciones, consiguiendo así una considerable reducción de costes.

Tradicionalmente para proporcionar este tipo de soluciones era necesario recurrir a enlaces dedicados o a infraestructuras de transmisión compartidas como Frame Relay o ATM, estableciendo PVCs (*Private Virtual Circuits*) entre los distintos nodos que constituyen la red VPN. El inconveniente de este tipo de soluciones era el elevado coste, en el caso de los enlaces dedicados, o los problemas de escalabilidad en el caso de FR o ATM ya que incorporar una nueva sede suponía tener que reconfigurar todos los PVCs e incrementar estos de forma no lineal.

Posteriormente para conseguir una mayor flexibilidad en el diseño e implantación de este tipo de redes surgieron las IP VPN, soluciones de comunicación VPN basadas en IP. Las diferentes soluciones de IP VPN, como por ejemplo IPSec, se basan en establecer túneles entre los routers de cliente de cada uno de los emplazamientos. El inconveniente de este tipo de soluciones viene de las limitaciones para establecer mecanismos de QoS y de la complejidad a la hora de agregar nuevos nodos, ya que es necesario reconfigurar todos los routers para establecer nuevos túneles.

Las redes VPN MPLS surgen como una alternativa dentro de las soluciones basadas en VPN proporcionando mayor escalabilidad, facilidad en la gestión y configuración de nuevos emplazamientos y mecanismos de QoS.

#### Redes VPN-MPLS

El estándar más extendido para proporcionar soluciones de VPN sobre MPLS es el definido por el IETF en la RFC 2547bis. Se conoce también como BGP/MPLS ya que utiliza BGP para distribuir la información de *routing* de la VPN a través del *backbone* del proveedor de servicios, y MPLS para el reenvío del tráfico entre emplazamientos de la VPN.

El modelo de VPN definido por la RFC 2547bis consta de varios elementos:

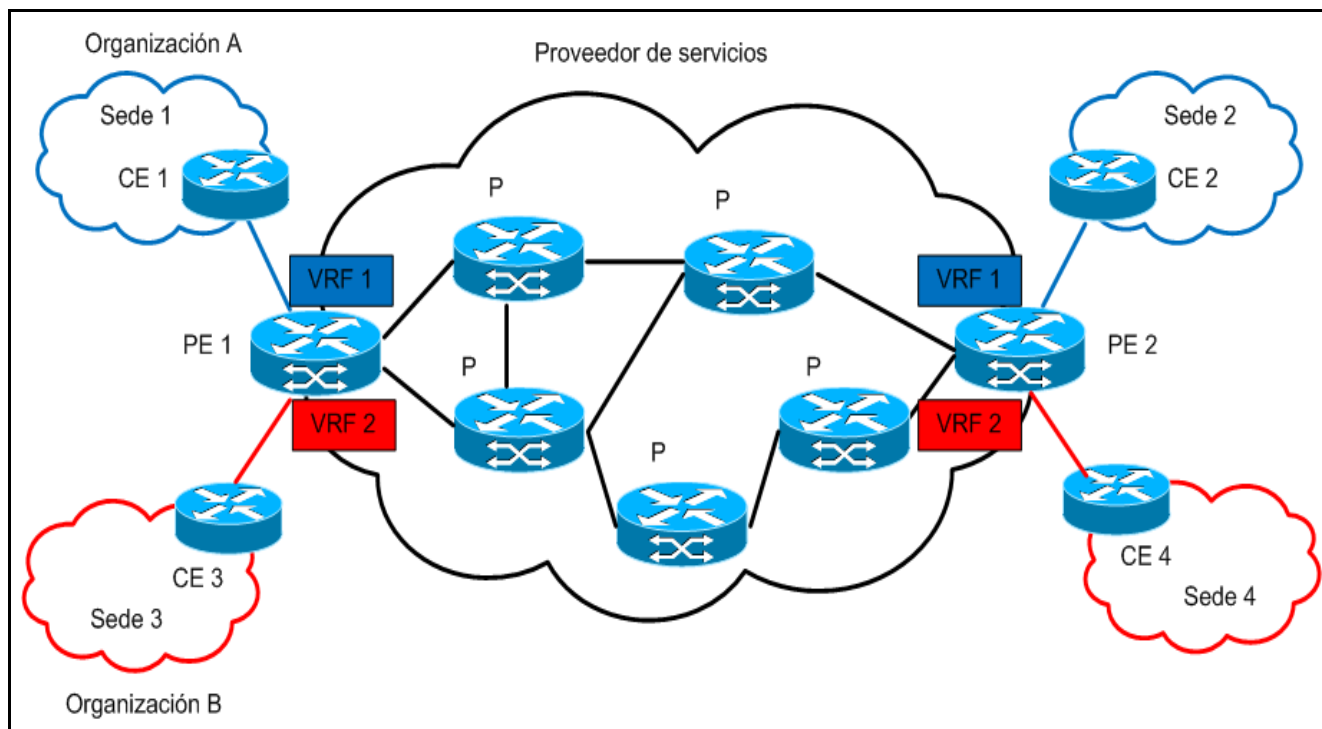
- **CE** (*Customer Edge Router*). Es el router de cliente que proporciona acceso a la red del proveedor sobre un enlace de datos que se establece con uno o varios *routers* del proveedor. Una de las características más importantes es que puede utilizarse cualquier tecnología de acceso y cualquier protocolo de encaminamiento entre el equipo del cliente y el del proveedor.
- **PE** (*Provider Edge Routers*). Es el *router* de entrada a la red del proveedor de servicios, al que se conectan los *routers* de cliente, con los que intercambia información de encaminamiento, pudiendo proporcionar el servicio de VPN a múltiples clientes. El PE mantiene las tablas de enrutamiento específicas de las VPN y a nivel MPLS actúa como LER y tiene capacidad para conmutar etiquetas.
- **P** (*Provider Routers*). Son *routers* internos de la red del proveedor, que se comunican con los PE y con otros P pero no están conectados directamente a los *routers* de cliente. No necesitan mantener información específica de las rutas de la VPN y a nivel MPLS funcionan como LSRs conmutando etiquetas. La comunicación para el establecimiento de rutas entre PEs y Ps se realiza mediante el protocolo MP-BGP (*Multiprotocol BGP*).
- **VRF** (*VPN Routing and Forwarding Table*). Tabla de rutas única que se crea en el PE para cada VPN conectada al mismo, de forma que el PE se comporta como si hubiera varios *routers* virtuales, uno por cada VPN con su propia tabla de encaminamiento y retransmisión.

Este es el método utilizado para proporcionar seguridad, aislando el tráfico entre distintas VPNs. Cuando el PE recibe un paquete del CE se utiliza la tabla de encaminamiento VRF que está asignada a ese emplazamiento para determinar el enrutado de los datos.

La asociación con el VRF se establece a nivel de puerto, de forma que si el PE tiene varias conexiones (varios enlaces en distintos puertos) con el mismo emplazamiento todas ellas se pueden asociar con el mismo VRF.

Por otro lado dos interfaces sólo pueden mapearse con el mismo VRF a menos que se pretenda que compartan información de rutas, y la dirección de destino de los paquetes para un VRF se determina en función del interfaz de entrada.

El siguiente gráfico muestra un ejemplo de la arquitectura de una red VPN/MPLS con dos VPN distintas:



**Figura 9:** Arquitectura de una red VPN MPLS.

Este modelo es altamente escalable, a la vez que sencillo de configurar y administrar, ya que la información de encaminamiento de la VPN sólo es necesario almacenarla en los PE que dan acceso a los distintos emplazamientos de una organización y, por otro lado, para añadir una nueva sede sólo es necesario configurar el CE y el PE al que esté conectada.

Dentro de esta arquitectura se establecen dos tipos de topología para la comunicación entre las sedes de una VPN, organizando la red en subconjuntos de sedes conocidos como CERC (*CE Routing Communities*). Las dos topologías más comunes son *hub-and-spoke* y *full-mesh*.

En la topología *hub-and-spoke* hay uno o varios CEs que actúan como hubs, y el resto de los CEs se comunican a través de estos en lugar de hacerlo directamente. Esta topología puede resultar útil cuando tenemos varios CEs ubicados dentro de la misma sede, o hay varias sedes interconectadas a través de otra red, o cuando se quiere reducir la información de enrutamiento que han de manejar los PEs y el número de LSPs dentro de la red MPLS.

La topología *full-mesh* es en la que todos los CEs se pueden comunicar directamente entre ellos.

**Modelo operacional.**

La operación de este tipo de VPN requiere dos flujos de tráfico, un flujo de control y uno de datos.

El flujo de control se compone de dos flujos. Uno de ellos para el intercambio de información de enrutamiento y el otro para el establecimiento de los LSPs entre PEs dentro de la red del proveedor de servicios.

A su vez hay dos flujos de información de enrutamiento, uno de ellos entre los routers de cliente y los PEs, para el que pueden utilizarse rutas estáticas o cualquiera de los protocolos de encaminamiento estándar, y otro entre los PEs y los Ps, para el que se utiliza BGP.

Dentro de la RFC 2547bis se define el concepto de dirección VPN-IPv4 para la distinción entre rutas. Se trata de una dirección de 12 bytes, que añade a un prefijo de dirección IPv4 un campo RD (*Route Distinguisher*) de 8 bytes, lo que permite el solapamiento de espacios de direcciones entre distintas VPNs manteniendo rutas separadas para las direcciones de cada VPN.

A nivel del núcleo de la red la introducción de direccionamiento VPN-IPv4 se combina con la utilización de las extensiones MP (*Multi-Protocol*) de BGP que permiten manejar rutas con esta familia de direcciones. También se utilizan las extensiones BGP-VPN que permiten definir políticas de distribución de rutas para gestionar la correcta distribución de la información de enrutamiento de las VPN.

Los PE pueden autodescubrir a otros PE conectados a la misma VPN, con lo que al configurar inicialmente la red o reconfigurarla no es necesario configurar todos los PE de la red, y por otro lado no es necesario que todos los PE almacenen los VRF de todas las VPN, sólo de aquellas a las que dan entrada hacia la red del proveedor de servicios.

Dado que los routers internos de la red del proveedor de servicios no almacenan información de enrutamiento de las VPNs para poder reenviar el tráfico de las VPN dentro de la red MPLS se utiliza un doble nivel de etiquetas. El PE de entrada asocia una etiqueta por cada interfaz de entrada que inserta en las rutas que anuncia hacia los *routers* P del núcleo y hacia el resto de los PE de la red, con esto cada nodo dentro del núcleo de la red del proveedor puede asignar una etiqueta a ruta correspondiente en cada PE para establecer los LSPs.



Tomando como ejemplo la arquitectura de la Figura 9 el proceso para el intercambio de información de encaminamiento sería el siguiente:

- El PE1 se configura para asociar el VRF con el interfaz por el que aprende rutas del CE1.
- Cuando en CE1 anuncia una ruta hacia el PE1 este establece una ruta local en el VRF correspondiente a la VPN en la que se encuentra el CE1, en este ejemplo VRF1.
- El PE1 asigna una etiqueta MPLS al interfaz por el que recibe las rutas que anuncia en CE1. Cuando el PE1 recibe la ruta anunciada por el CE1 la anuncia hacia el PE2 junto con la etiqueta MPLS, y establece su dirección de *loopback* como el siguiente salto BGP para esa ruta.
- El PE2 recibe el anuncio de ruta del PE1 y, en función de las políticas de distribución de rutas, determina si debe incluirla en la VRF1. Una vez establecida la ruta local en el VRF1 la anuncia hacia el CE2.

Para enviar el tráfico de la VPN a través de la red del proveedor de servicios se establecen LSPs entre el PE que aprende la ruta y el PE que la anuncia. El establecimiento de los LSPs se hace utilizando LDP o RSVP. Dentro de la RFC se establece que como mínimo debe implementarse LDP para garantizar la interoperabilidad entre fabricantes.

LDP se utiliza para el establecimiento de LSPs sin QoS garantizada, mientras que RSVP-TE se utiliza cuando se necesitan LSPs que soporten QoS o ingeniería de tráfico. Entre cada pareja de PEs se pueden establecer varios LSPs en paralelo si se necesita enviar tráfico con diferentes QoS.

Usando la arquitectura de la Figura 9 como ejemplo el proceso para flujo de datos dentro de la red sería el siguiente:

- Un equipo ubicado en la sede 2 quiere transmitir información a un equipo ubicado en la sede 1.
- El equipo de la sede 2 enviará el tráfico hacia el CE2 que actúa de *gateway* enviando los paquetes hacia el PE2.
- El PE2 realiza una búsqueda de la ruta dentro de la tabla del VRF1, de donde obtendrá la etiqueta MPLS añadida a la ruta por el PE1, el siguiente salto BGP para la ruta (que será la dirección de *loopback* del PE1), el interfaz de salida para el LSP establecido entre el PE2 y el PE1, y la etiqueta inicial para este LSP.

- El PE2 coloca la etiqueta MPLS correspondiente a la ruta al fondo de la pila de etiquetas, y la etiqueta inicial al principio de la pila, y envía los paquetes hacia el LSP por el interfaz de salida que corresponda.
- Cuando los paquetes llegan al PE1 éste toma la etiqueta MPLS del fondo de la pila, que será la que añadió a la ruta, identifica el CE al que corresponde la etiqueta, en este caso el CE1, y le reenvía los paquetes eliminando las etiquetas MPLS. Finalmente el CE1 recibirá los paquetes y los enviará al equipo correspondiente dentro de la sede 1.

### **Ventajas.**

Las redes VPN-MPLS presentan numerosas ventajas tanto desde el punto de vista del operador como del cliente:

- Utilización de la red de núcleo del operador. Desde el punto de vista del operador la tecnología MPLS ya está desplegada en el núcleo de la red IP, dando servicio a múltiples clientes, lo que permite ofrecer el servicio sin tener que hacer inversiones adicionales en el *backbone* y a un coste competitivo para el cliente.
- Desde el punto de vista del cliente el utilizar el *backbone* del operador supone un elevado ahorro de costes frente a la solución basada en el establecimiento de enlaces punto a punto. La construcción de enlaces se reduce al establecimiento del enlace entre la sede del cliente y el punto de entrada a la red MPLS del operador, lo que facilita y abarata la incorporación de nuevas sedes.
- Escalabilidad. La solución VPN-MPLS proporciona una alta escalabilidad a la red del cliente. Incluir una nueva sede sólo requiere montar el enlace entre la sede y el PE de acceso a la red MPLS y configurar este PE. La capacidad de autodescubrimiento de los PE y la ausencia de información de *routing* de la VPN en los *routers* P hacen que no sea necesario modificar la configuración de todos los equipos de la red, evitando además el riesgo asociado a las reconfiguraciones. Este modelo de provisión se conoce como *Point-to-Cloud*.
- Accesibilidad. La VPN-MPLS permite utilizar cualquier tecnología de acceso para interconectar las sedes con la red del operador, lo que también proporciona una gran flexibilidad.

Por un lado permite al operador seleccionar la tecnología de acceso según el despliegue de red que tenga en cada zona, pudiendo proporcionar una mayor cobertura geográfica, y abaratar los costes de establecimiento del enlace para el cliente.

- Flexibilidad. La VPN-MPLS proporciona la interconexión de todas las sedes entre sí, lo que permite adaptarse a la topología requerida por las aplicaciones del cliente, pudiendo configurar fácilmente estructuras *Full Mesh*, *Hub&Spoke*, *mixtas*, etc. según las necesidades del cliente.

Por otra parte la tecnología permite el solapamiento de espacios de direcciones entre distintos clientes, con lo que el cliente puede utilizar su propio espacio de direcciones, público o privado, adaptándose completamente a sus necesidades y minimizando la configuración de su red interna.

- QoS. La utilización de la red MPLS ofrece la posibilidad de definir clases de servicio dentro de cada VPN que se adapten a las diferentes aplicaciones que pueda necesitar el cliente, proporcionando distintos mecanismos que garanticen la calidad de servicio.
- Administración. Desde la perspectiva del cliente toda la administración y gestión del *backbone* la realiza el operador lo que simplifica todas las tareas asociadas al mantenimiento de su propia red.

Los *routers* de cliente de cada sede no tienen que intercambiar información de enrutamiento con otros *routers* de la VPN, por lo que todos los problemas de enrutamiento dentro del *backbone* son responsabilidad del operador, y el cliente tampoco tiene que gestionar los accesos a los routers PE o P.

En el lado del operador la misma red de backbone puede proporcionar servicio a las VPNs de múltiples clientes sin necesidad de administrar cada una de ellas por separado.

- Seguridad. La VPN proporciona la separación de flujos de tráfico entre los distintos clientes que utilizan el *backbone* del operador ofreciendo niveles de seguridad equivalentes a los de los circuitos virtuales ATM o Frame Relay sin necesidad de implementar técnicas de encriptado adicional.

Aún así en caso de ser necesarias medidas de protección adicionales se puede recurrir a soluciones combinadas como la utilización de IPSec sobre la VPN-MPLS.

- Disponibilidad. La red de *backbone* del proveedor de servicios generalmente ofrece unos niveles de redundancia y alta disponibilidad que es aprovechado por el cliente al utilizar esta red como punto de unión entre todas las sedes.

Conseguir los mismos niveles de disponibilidad con otro tipo de tecnologías supondría una solución muy compleja y costosa para el cliente. Con la VPN-MPLS el cliente se beneficia de la alta disponibilidad sin añadir complejidad a su red, de forma transparente, y a un coste reducido.

Por otra parte la red VPN-MPLS permite conectar todas las redes en una topología totalmente mallada entre las diferentes sedes, lo que supone que ante la caída de una de las sedes el resto permanecen comunicadas entre sí.

- Coste. Como resumen de varios puntos comentados anteriormente una solución de este tipo proporciona al cliente una red de altas prestaciones a un coste muy reducido.

### 3.2 H.323.

H.323 es una recomendación del ITU-T que define originariamente una serie de componentes, procedimientos y protocolos para soportar comunicaciones multimedia sobre redes LAN sin calidad de servicio garantizada. Posteriormente el alcance se amplió a cualquier ámbito en el que la red de transporte de paquetes no pueda garantizar la calidad de servicio.

Puede proporcionar servicios de transporte de datos fiable o no fiable, es independiente de la topología de la red y permite la interoperabilidad con distintos tipos de terminales y tecnologías multimedia, mediante el uso de pasarelas.

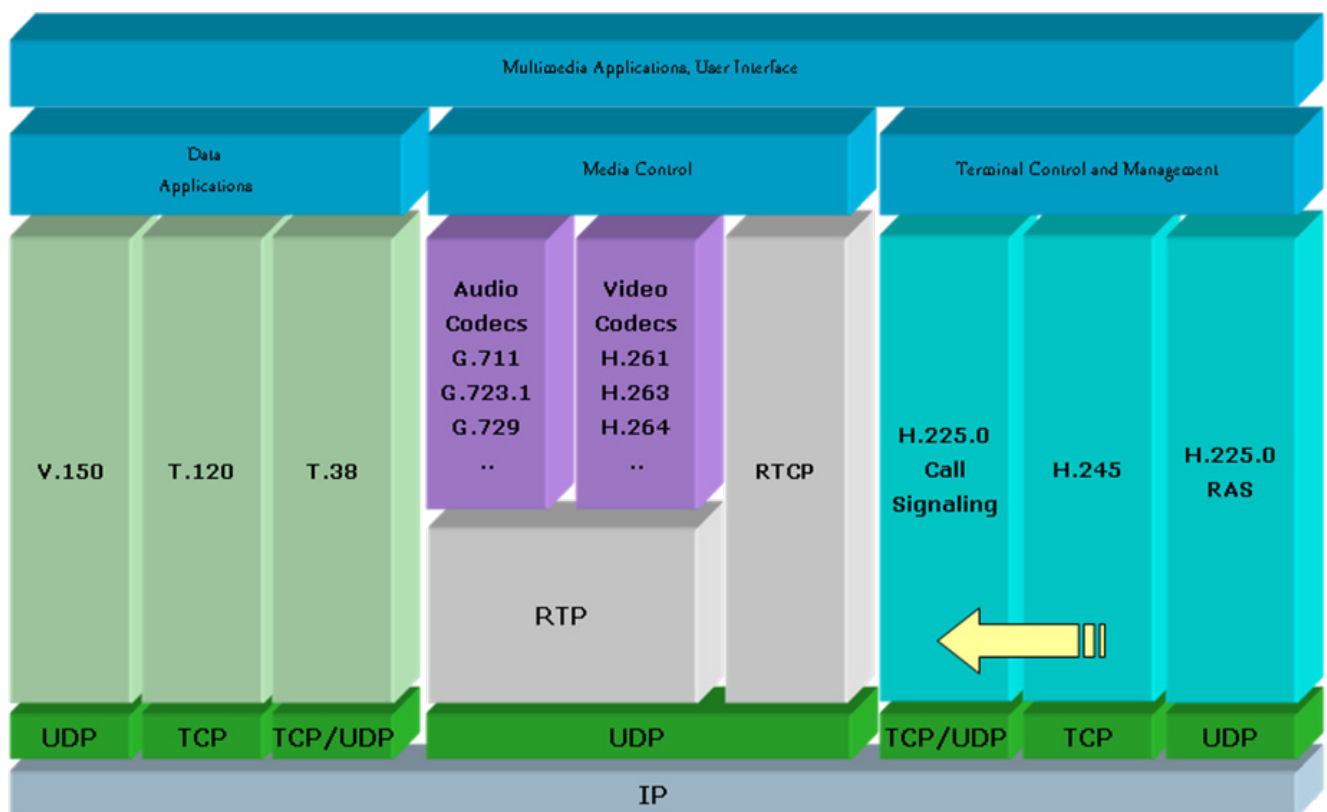
H.323 no es un protocolo en sí sino un paraguas de protocolos que define el uso de éstos y los diferentes componentes para establecer un servicio de comunicaciones multimedia sobre redes de paquetes.

Los principales protocolos involucrados son:

- **H.245.** Protocolo de control utilizado para el establecimiento y cierre de canales multimedia en una llamada, y mantener el control de la misma. Se utiliza también para el intercambio de capacidades entre los terminales: códec, tasa de bits, etc...
- **H.225.** Protocolo de señalización de llamada que permite iniciar y finalizar llamadas entre *endpoints*, incluyendo una versión simplificada de Q.931 (protocolo de señalización usuario-red RDSI). Define también cómo se realiza la paquetización de los flujos de audio, video y datos.
- **RTP/RTCP** (Real-Time Transport Protocol/Real-Time Transport Control Protocol). Protocolo de transporte de datos en tiempo real utilizado por H.225 para la transmisión de flujos como el audio o el video. Permite identificar el contenido de los paquetes, numerar secuencias, sincronizar flujos por marcas de tiempo.
- **RAS** (Registration, Admission and Status). Utilizado por H.225 para solicitar autorización al establecer una llamada, controlar el acceso y el ancho de banda, mantener información del estado de los participantes e intercambiar información de direccionamiento.
- **H.235.** Protocolo que define los procedimientos de seguridad (autenticación, privacidad e integridad) y cifrado empleados por los sistemas basados en H.323.
- **H.450.** Define los servicios suplementarios, tales como la llamada en espera, identificación de llamada, transferencia de llamada, etc.

- **T.120.** Define un conjunto de protocolos y servicios que proporcionan soporte para multiconferencia de datos en tiempo real (compartición de aplicaciones, pizarra virtual,...).
- **Codecs.** Algoritmo utilizado para convertir las señales, audio y video principalmente, en un flujo de datos que pueda ser transportable a través de una red de datos. En H.323 se especifica como códec de audio obligatorio G.711 pero se pueden implementar otros como G.729, G.723, G.722, etc. Para video se propone en la recomendación H.261 y H.263.

El siguiente esquema muestra un ejemplo de la pila de protocolos típica en H.323:



**Figura 10:** Ejemplo de pila de protocolos H.323.

Por otro lado se definen los componentes que constituyen una red o sistema basado en H.323:

- Terminales.
- *Gateways*.
- *Gatekeepers*.
- MCUs (Unidad de Control Multipunto).
- *Border Elements*.

Dentro de estos elementos se distingue entre puntos intermedios, que son direccionables pero no pueden emitir ni recibir llamadas (*Gatekeepers* y *Border Elements*), y puntos finales (*endpoints*) que pueden emitir y recibir llamadas (Terminales, *Gateways* o MCUs).

### **3.2.2 Componentes H.323.**

#### **a) Terminal.**

Un terminal H.323 es un extremo de la red que proporciona comunicaciones bidireccionales en tiempo real con otro terminal H.323, gateway o unidad de control multipunto. Esta comunicación consta de mensajes de control, señalización, audio, imagen y /o datos entre los dos terminales. Un terminal H.323 puede proporcionar sólo voz, voz y datos, voz y vídeo, o voz, datos y vídeo.

Para desempeñar esta función consta de interfaces de usuario, códec de video y/o audio, capa H.225 para las funciones de señalización, capa H.245 para las funciones de control y la interfaz con la red de paquetes.

Terminales típicos pueden ser un teléfono, videoteléfono, equipos de IVR, sistemas de buzón de voz, *softphones*, etc.

#### **b) Gateway (GW).**

Los *gateways* o pasarelas son los elementos que actúan de interfaz entre las redes H.323 y otras redes como la PSTN, SIP, etc., realizando funciones de traducción de señalización y transcodificación de señales. También se utilizan como proxy H.323, actuando en este caso de interfaz hacia otras redes H.323.

El *gateway* está compuesto a su vez de un *Media Gateway* (MG) y un *Media Gateway Controller* (MGC), que pueden coexistir en el mismo elemento de red o estar separados.

El *Media Gateway* se encarga de la traducción de los flujos (audio, video,...) entre distintas redes, es decir, de la función de conversión o transcodificación.

El *Media Gateway Controller* es el encargado de traducir la señalización y los mensajes de control entre las distintas redes.

c) Gatekeeper (GK).

El *gatekeeper* es un elemento opcional en H.323, si bien cuando existe es obligatoria su utilización, encargado principalmente de tres funciones:

- Control de admisión. Lleva a cabo el registro y admisión de los *endpoints*. Es el encargado de aceptar o rechazar llamadas procedentes de los *endpoints*, pudiendo rechazar llamadas por falta de autorización, acceso restringido, en determinadas franjas horarias, etc.
- Resolución de direcciones. Realiza la traducción de direcciones para *gateways* y terminales, pudiendo mantener la asociación dirección IP-número de teléfono o alias. En este sentido los terminales H.323 tienen asociada numeración E.164.
- Gestión y control del ancho de banda. Controlando el número de terminales que pueden acceder simultáneamente a la red, el ancho de banda que pueden ocupar, y rechazando llamadas en caso de congestión.

El *gatekeeper* realiza estas funciones para todos los elementos registrados dentro de lo que se denomina zona de control H.323. Una zona está constituida por un *gatekeeper* y todos los terminales, *gateways* y MCUs que estén conectados a él. Las zonas son independientes de la topología de la red.

Relacionado con las zonas se define también el concepto de dominio administrativo, que es un conjunto de zonas que se encuentran bajo el mismo control administrativo (como puede ser operador de telecomunicaciones, la red de una empresa, etc.).

d) Unidad de Control Multipunto (MCU).

Elemento encargado de gestionar conferencias multipunto entre más de dos *endpoints*, estableciendo la negociación entre ellos para determinar las capacidades comunes de procesamiento de medios y controlar la multidifusión.



Consta de un controlador multipunto (MC), que es un elemento obligatorio, encargado de gestionar la señalización de llamada para el intercambio de capacidades e indicación dinámica de los modos de trabajo comunes.

Opcionalmente puede tener uno o varios procesadores multipunto (MP) encargado de procesar flujos multimedia realizando la mezcla, conmutación, transcodificación u otras tareas de procesado de los mismos.

Algunos procesadores multipunto pueden realizar la transcodificación de flujos de audio o video en tiempo real, de forma que cada participante puede elegir los codecs en función de sus capacidades, si bien esta funcionalidad suele realizarse utilizando procesadores de señal dedicados dado el alto coste computacional.

e) Border Elements.

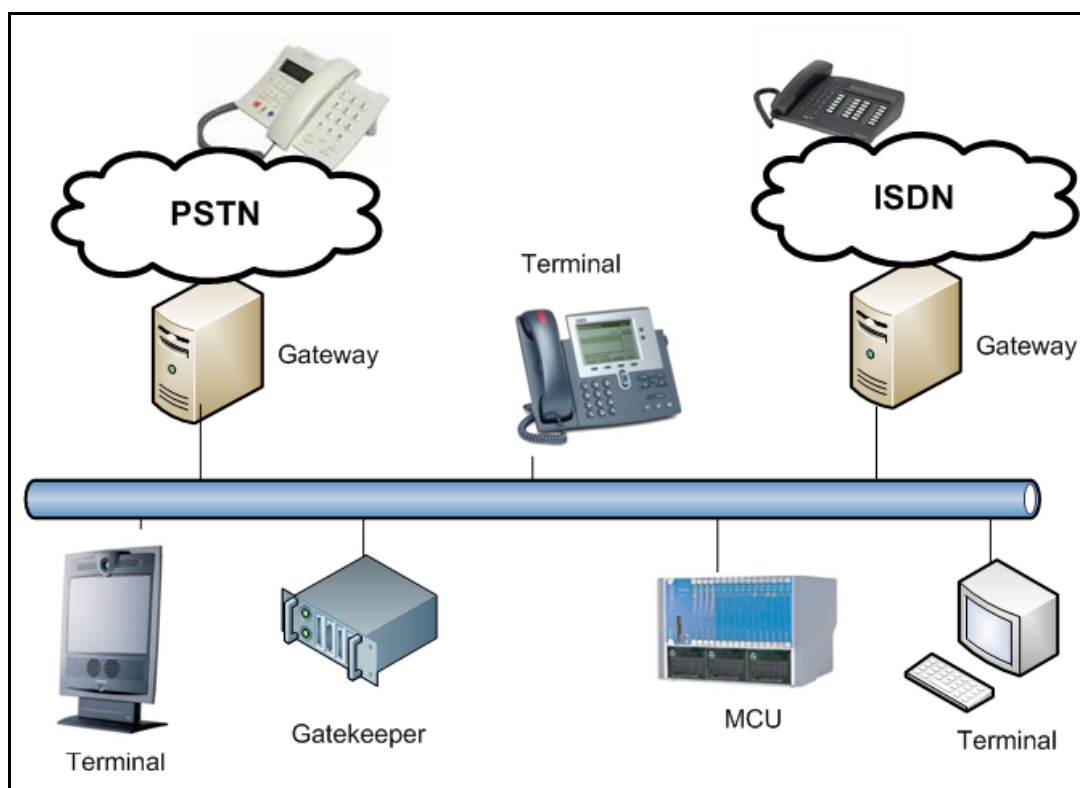
Es un elemento ubicado en el extremo de la red aislando la red de acceso de la red de *backbone*, ocultando así la topología de la misma y realizando múltiples funciones:

- Control del tráfico de señalización, participando en todas las fases de la llamada.
- Intercambio de información de direccionamiento, para reducir el volumen de tráfico de routing hacia la red.
- Asistencia en la autenticación o autorización de llamadas dentro o entre dominios administrativos.
- Traducción de direcciones.
- Adaptación de protocolos entre diferentes versiones.

Habitualmente está ubicado con el *gatekeeper*.

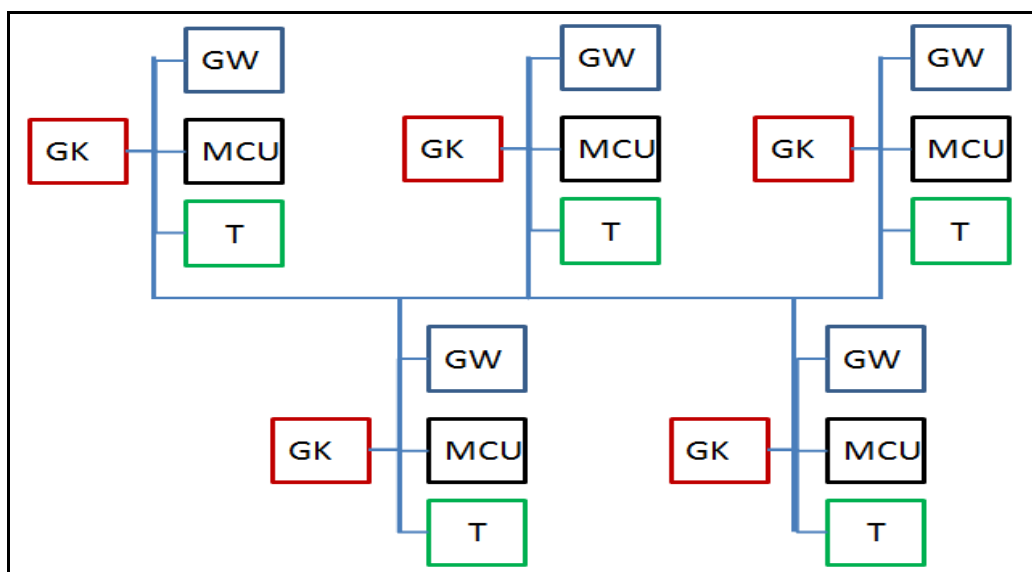
### 3.2.3 Arquitectura de red

La arquitectura básica de una zona H.323 tiene la siguiente estructura:



**Figura 11:** Arquitectura básica de una red H.323.

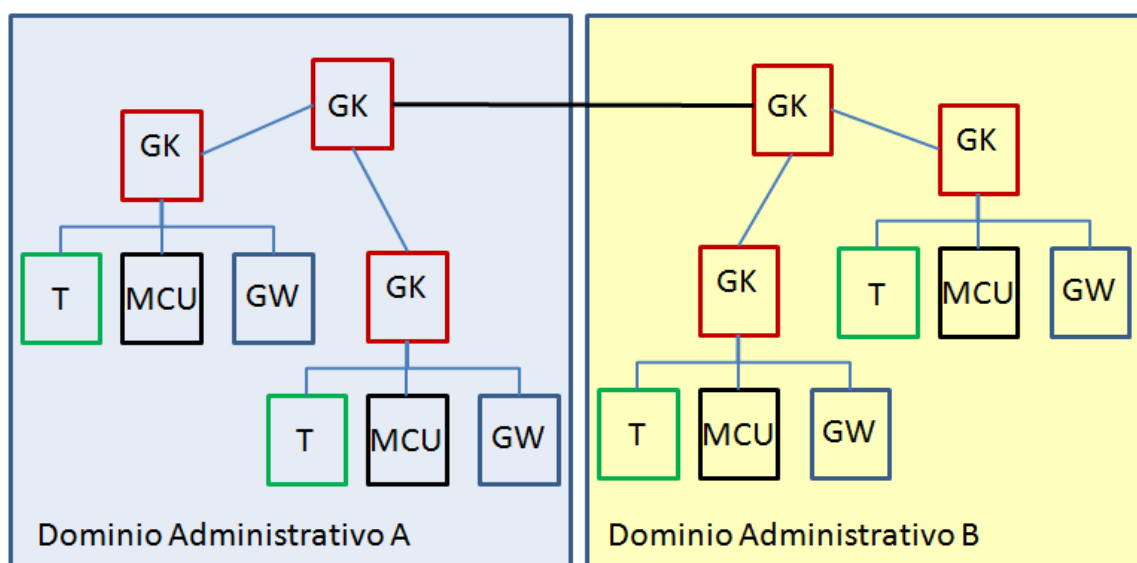
Partiendo de la estructura de una zona la estructura de un dominio administrativo sería la siguiente:



**Figura 12:** Estructura de un dominio administrativo H.323.

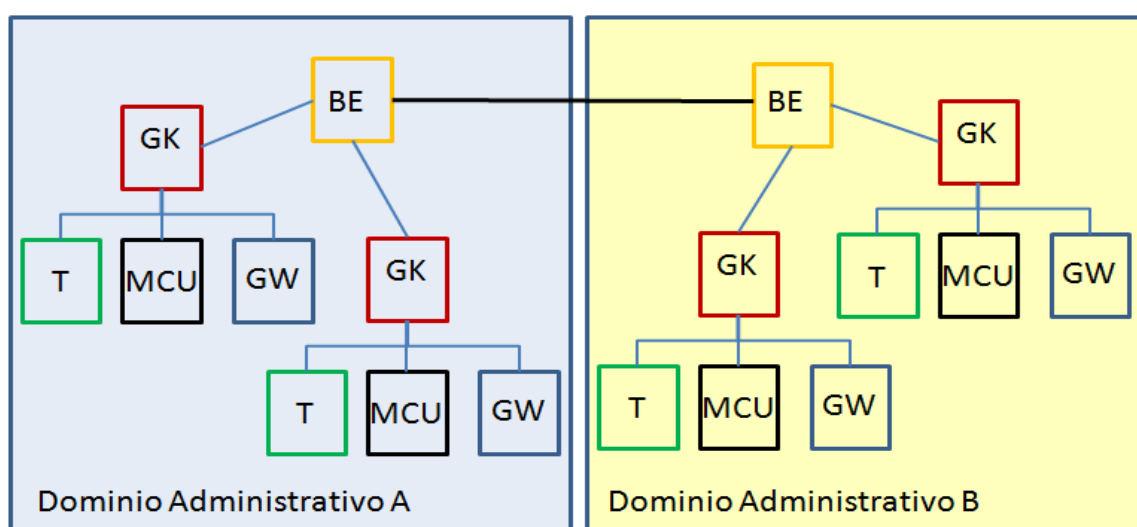
La comunicación entre dominios administrativos puede realizarse mediante mensajes RAS de *Location Request* (LRQ) o mediante señalización H.225 Anexo G, que define la comunicación entre dominios utilizando *border elements*. En cualquiera de los casos hay una comunicación inicial para la resolución de direcciones y posteriormente la comunicación se realiza mediante mensajes de señalización H.323 directamente entre los componentes implicados en la llamada.

En caso de utilizar mensajes RAS la arquitectura incluiría *gatekeepers* jerárquicos para la comunicación entre dominios:



**Figura 13:** Arquitectura H.323 con comunicación RAS entre dominios.

La arquitectura utilizando H.225 Anexo G incluiría *border elements* para la comunicación entre dominios:



**Figura 14:** Arquitectura H.323 con comunicación H.225 Annex G entre dominios.

Dado que el *gatekeeper* es un elemento opcional en caso de no existir los *endpoints* pueden resolver direcciones por si mismos utilizando bases de datos como LDAP, DNS, o una agenda local con direcciones IP estáticas.

### **3.2.4 Intercambio básico de mensajes en H.323.**

Dentro del intercambio de mensajería básico nos encontramos tres tipos de mensajes:

- RAS. Para el registro y la solicitud de admisión.
- Señalización H.225, para el inicio y finalización de la llamada entre los *endpoints*.
- Señalización H.245, para negociar capacidades.

Una llamada típica se divide en varias fases: establecimiento, señalización de control, flujo de audio/video y desconexión. El siguiente gráfico muestra un ejemplo de llamada:

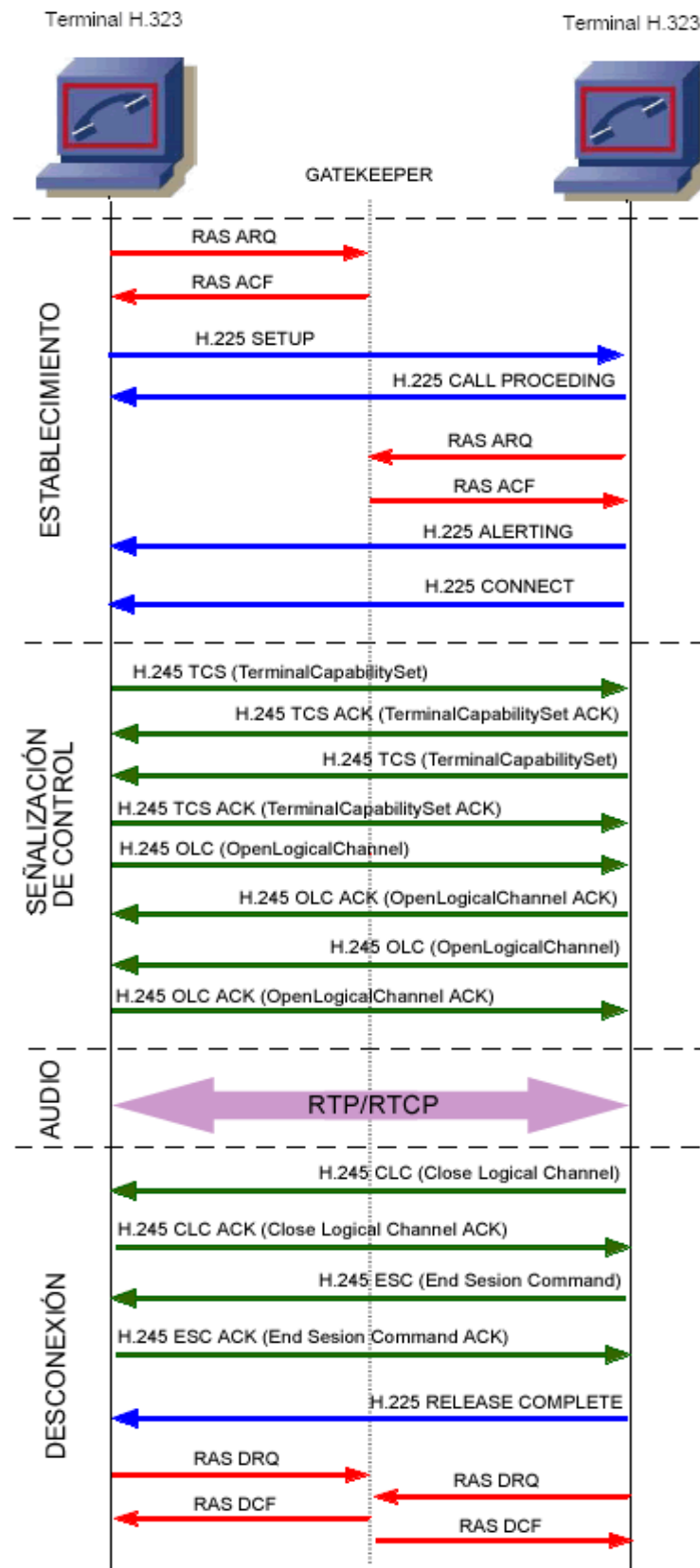


Figura 15: Ejemplo de llamada H.323.

#### Fase de establecimiento:

- Uno de los terminales solicita la autorización para realizar la llamada al *Gatekeeper*, utilizando mensajes RAS ARQ (*Admission Request*) y ACF (*Admission Confirmation*).
- Mediante señalización H.225 se envía un mensaje de *SETUP* al segundo terminal para iniciar la llamada que es respondido con un *CALL PROCEEDING*.
- El segundo terminal solicita la autorización de admisión al *Gatekeeper* mediante mensajes RAS.
- Finalmente se envía el mensaje de *ALERTING* indicando la generación del tono de llamada, seguido del mensaje de *CONNECT* que marca el comienzo de la conexión.

#### Fase de señalización de control:

- Se realiza la negociación mediante protocolo H.245, en la que se establece cuál de los terminales actuará como maestro y cuál como esclavo, las capacidades de los participantes y los *codecs* de audio y/o vídeo a utilizar. Para el intercambio de capacidades se utilizan los mensajes TCS (*Terminal Capability Set*).
- Se abre el canal de comunicación (dirección IP, puerto, etc.) para el envío de los flujos de audio/vídeo, indicando el tipo de datos que van a ser transportados. Para ello se utilizan los mensajes LC (*Open Logical Channel*).

Flujo de audio/vídeo. Fase en la que se produce el envío de los flujos de información entre los terminales.

#### Fase de desconexión:

- Se inicia el proceso de finalización de llamada mediante intercambio de mensajería H.245. Cualquiera de los participantes activos puede comenzar el proceso enviando el mensaje CLC (*Close Logical Channel*) y posteriormente el ESC (*End Session Command*).
- Se cierra la conexión mediante H.225 con el mensaje RC (*Release Complete*).
- Ambos terminales liberan el registro con el *Gatekeeper* mediante mensajes RAS DRQ (*Disengage Request*) y DCF (*Disengage Confirmation*).

### 3.3 IP Trunking.

En las redes telefónicas de conmutación de circuitos, un *trunk* o enlace troncal es un circuito utilizado para conectar dos elementos de conmutación (PBX, centrales de conmutación del operador, etc.). Estos enlaces están constituidos por un conjunto canales que pueden soportar múltiples llamadas simultáneas, si bien el número de canales es limitado y cuando todos los canales están ocupados no se pueden realizar más llamadas.

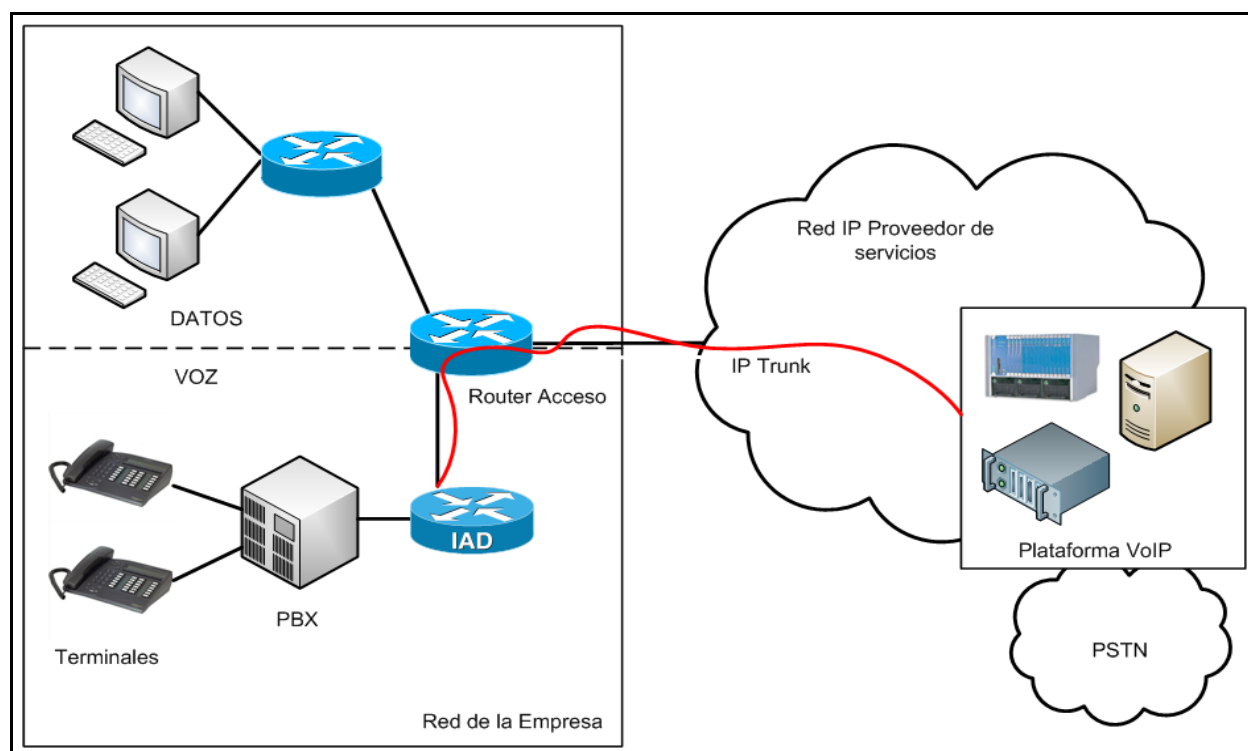
De forma análoga un *IP Trunk* es un enlace que se establece sobre la red IP para el transporte de paquetes entre elementos de una red de VoIP. La aplicación más habitual es proporcionar un enlace sobre la red de datos entre la centralita PBX de una empresa y la plataforma de VoIP de un proveedor de servicios, que será el encargado de proporcionar la interconexión con otras redes de telefonía como la PSTN, sustituyendo así a los accesos de voz tradicionales (PRI, BRI, etc.)

Esta solución permite prescindir de los circuitos de voz y utilizar los mismos enlaces con el proveedor de servicios tanto para el envío de datos como para el tráfico de voz, con la consiguiente reducción de costes y simplicidad en el mantenimiento y administración de la red.

Por otro lado permite reutilizar la infraestructura de voz existente en la empresa, tanto centralitas PBX tradicionales como terminales telefónicos. Tan sólo es necesario introducir un elemento que actúe de *gateway* convirtiendo las llamadas de voz tradicional procedentes de la PBX en llamadas de VoIP. Este elemento pueden ser tarjetas adicionales instaladas en la propia PBX o un IAD (*Internet Access Device*) que estará conectado por un lado a la centralita PBX y por otro a la red de datos.

En el caso de disponer de centralitas IP-PBX la solución de *IP Trunk* se puede utilizar para proporcionar una salida para las llamadas hacia o desde el exterior hasta la red interna del cliente, especialmente para la salida hacia la PSTN a través del proveedor de servicio.

La topología de una solución basada en *IP Trunking* sería la siguiente:



**Figura 16:** Ejemplo de solución basada en *IP Trunking*.

Con esta arquitectura además de compartir la infraestructura de datos y los enlaces con el proveedor externo se consigue un mayor aprovechamiento del ancho de banda, ya que la capacidad disponible puede balancearse hacia el envío de datos o hacia la VoIP en función de las necesidades. Ahora bien, uno de los aspectos a tener en cuenta en este tipo de soluciones es que la red de datos ha de proporcionar los mecanismos de QoS para garantizar la calidad de los servicios de voz.

Relacionado con el aprovechamiento del ancho de banda otra de las ventajas del *IP Trunking* es que no es necesario contratar un conjunto fijo de canales, como en el caso de los primarios por ejemplo, sino que la ampliación de capacidad se puede realizar de forma progresiva en función de las necesidades. Se podría contratar por ejemplo un *trunk* con capacidad para un determinado número de llamadas simultáneas a elegir por el cliente, que se puede aumentar en cualquier momento con un sencillo cambio de configuración siempre que haya ancho de banda disponible en el enlace de datos.



## Capítulo 4. Diseño de la solución de red.

## 4. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN DE RED

### 4.1 Planteamiento General de la Solución

El diseño de la solución comienza por definir a alto nivel la arquitectura y tecnologías a utilizar, tratando de encajar los requisitos del cliente con la infraestructura y servicios de red de los que dispone el operador, a fin de satisfacer las necesidades del cliente ajustando el coste de las inversiones requeridas.

Dentro de los requisitos del cliente destacan la necesidad de interconectar todas las sedes, unificando y simplificando la red, con una alta flexibilidad para incorporar nuevas sedes y ajustar los caudales, y con una solución redundada que proporcione una elevada disponibilidad.

En el apartado de voz se busca la reducción del coste en primarios, sustituyendo la solución de telefonía tradicional por una solución de telefonía sobre IP.

La red de original del cliente presenta una elevada complejidad, ya que debido a la expansión del negocio basada en adquisiciones combina multitud de tecnologías y presenta una estructura bastante anárquica.

Por un lado tiene varias sedes que tienen establecida una red privada mediante enlaces *Fast Ethernet* y circuitos portadores, ambos basados en circuitos de transmisión sobre tecnología SDH. Esta es una de las formas clásicas de crear redes privadas entre diversos emplazamientos.

El principal inconveniente de esta solución es el elevado coste de este tipo de circuitos y los tiempos requeridos habitualmente para la implantación. Por otro lado es poco flexible, siendo necesario establecer los enlaces entre las sedes extremo a extremo y reconfigurar todos los equipos de la red cada vez que se quiere añadir una nueva sede.

Desde el punto de vista de redundancia tampoco es una solución adecuada, ya que supone construir dobles enlaces extremo a extremo y, en el caso de no tener una topología totalmente mallada, la caída de una de las sedes podría dejar incomunicadas a parte de las otras.

Como ejemplo en el caso del cliente ante un corte en el enlace entre Sevilla I y Madrid III, o una caída de red en Madrid III, Sevilla I quedaría incomunicada.

Por otro lado tiene varias sedes interconectadas mediante una red VPN-MPLS que se comunican con las sedes centrales utilizando una de ellas como pasarela (Madrid I). Al margen de la complejidad en la configuración y mantenimiento de esta solución una caída de Madrid I

provocaría la pérdida de conectividad de todas las sedes de la red MPLS con las sedes centrales.

Por tanto, plantear una solución basada en el establecimiento de enlaces punto a punto entre las sedes no resulta lo más adecuado, especialmente en este caso que habría que conectar a la red todas las sedes que actualmente están bajo la red MPLS del Operador B.

Una solución alternativa podría ser el establecimiento de un doble anillo, bien mediante enlaces Ethernet, aprovechando en parte la infraestructura existente, o bien mediante la interconexión con fibra óptica.

El inconveniente de esta solución viene dada por la ubicación de las sedes, muy dispersas geográficamente y distantes entre sí, que haría que una solución de este tipo fuera extremadamente costosa tanto económicamente como en plazos de implantación, además de poco flexible para la incorporación de nuevas sedes.

### **Solución para la red de datos**

Dados los requisitos del cliente y el tipo de servicios que va a soportar la red la solución que se plantea como la más adecuada es establecer una red VPN-MPLS entre todas las sedes del cliente. Dentro de las ventajas descritas en el apartado 3.1.7 las razones fundamentales para elección de esta tecnología en el caso del cliente son las siguientes:

- Utilización de la red de núcleo del operador. Aparte de las ventajas ya comentadas el operador dispone de un amplio despliegue de puntos de entrada a la red MPLS, distribuidos geográficamente, que facilita que pueda haber algún nodo cercano a la ubicación del cliente.
- Escalabilidad. Esta característica encaja con la necesidad del cliente de conectar numerosas sedes y la posibilidad de incorporar otras nuevas en un futuro de forma sencilla y con el mínimo impacto. La expansión del cliente ha sido muy rápida y continua en los últimos años por lo que se prevé que la adhesión de nuevas sedes sea frecuente.
- Accesibilidad. La VPN-MPLS permite utilizar la tecnología de acceso que más se adecúe a los requerimientos de capacidad de cada una de las sedes, pudiendo utilizar desde un ADSL para sedes pequeñas o colaboradores hasta enlaces GBE sobre fibra óptica para las sedes centrales.

En el caso del cliente se trata de una característica clave ya que la dispersión geográfica de las sedes hace que no haya cobertura con ciertas tecnologías en todos los emplazamientos. También se solicita la redundancia por doble vía con lo que poder utilizar diversas tecnologías permite plantear soluciones basadas en el uso de distintas tecnologías para cada una de las vías.

- QoS. En el caso del cliente CONTACT el servicio de voz es la base de su negocio por lo que para realizar el paso de todo el servicio de telefonía a una solución de voz sobre IP se requiere una solución capaz de ofrecer mecanismos robustos de calidad de servicio.
- Disponibilidad. Entre los requisitos del cliente está el de la alta disponibilidad a todos los niveles. Con esta solución se asegura la disponibilidad a nivel de backbone a un coste reducido, y se consigue una mejora con respecto a la red original, que utilizaba determinadas sedes como punto de conexión de otras sedes con la red, constituyendo puntos simples de fallo.
- Coste. Como se ha comentado anteriormente las características de este tipo de redes permiten ofrecer una solución de altas prestaciones a un coste competitivo.

## **Solución de voz**

Una vez decidida la tecnología a utilizar para la red de datos el siguiente paso es definir la solución para el servicio de voz.

Tanto por los requisitos del cliente como por la solución definida para la red de datos la alternativa que mejor se adapta es la de utilizar una solución basada en *IP Trunking*.

El cliente ya dispone de centralitas, terminales y toda la infraestructura de voz montada en cada una de sus sedes, por lo que una solución de este tipo le permite aprovechar toda esa infraestructura y equipamiento sin tener que realizar inversiones adicionales.

Por otra parte simplifica la migración hacia el nuevo servicio, ya que la infraestructura existente puede estar funcionando con los primarios de voz hasta el último momento en el que, una vez montado y configurado todo lo demás (red de datos, *gateways* o *CEs*, *trunks*, etc.), se realizaría un breve corte de servicio para desconectar los primarios, conectar las centralitas a la nueva infraestructura y realizar los últimos ajustes de configuración.

Incluso para evitar un corte total del servicio se podría mantener alguno de los primarios o algún acceso básico como *backup* durante el cambio.

De esta forma la migración podría hacerse en fin de semana o durante la noche provocando el mínimo impacto en el desarrollo de la actividad de la empresa.

En este caso se va a montar una nueva red de datos VPN-MPLS, con soporte para QoS que permite garantizar la calidad necesaria para los servicios de voz, alta capacidad y redundancia. La solución de *IP Trunking* permite aprovechar esta nueva infraestructura haciendo uso de la misma red, enlaces y equipamiento de datos (CE) para los servicios de voz y de datos.

Otro de los requisitos es la eliminación de los primarios y el paso a ToIP. Dado el volumen de tráfico que maneja el cliente y que ya dispone de infraestructura de centralitas la solución que se plantea es la de proporcionar una salida hacia el exterior a través de la plataforma de VoIP de la que dispone el operador. Esta plataforma ofrece salida tanto hacia la red PSTN como hacia las numeraciones de VoIP de otros clientes del operador.

El propio cliente solicita la concentración del tráfico en dos puntos para la entrega al operador de servicios. Por esta razón la solución que se plantea es la utilización de la red MPLS para el tráfico de llamadas internas del cliente y, por otro lado, la concentración del tráfico de entrada/salida hacia la red exterior en estos dos puntos (que serían los Data Centres) desde donde se establecerían los *trunks* con la plataforma de voz del operador.

A nivel de plataforma el operador dispone de dos plataformas de voz IP, una basada en SIP y otra en H.323.

La plataforma SIP es una plataforma experimental dimensionada para realizar un piloto con usuarios residenciales y pequeñas empresas, que requeriría grandes inversiones por parte del operador en ampliación de elementos de la plataforma, dimensionamiento de enlaces hacia la red IP, dimensionamiento de circuitos hacia la red PSTN y mantenimiento. Todas estas inversiones harían casi imposible poder ofrecer el servicio al cliente a un coste competitivo.

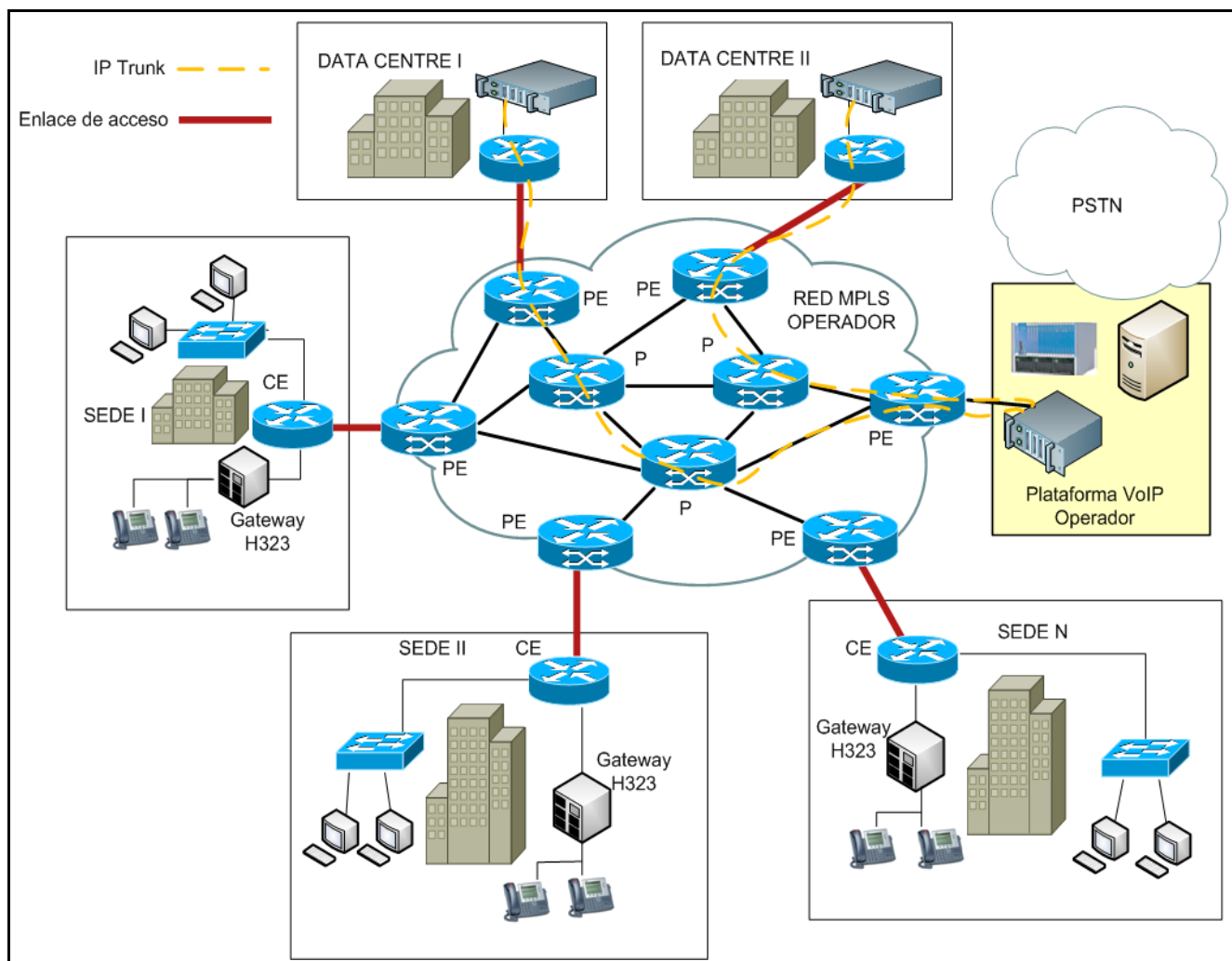
En el caso de H.323 se trata de una plataforma completamente en producción, dimensionada para soportar una mayor carga de tráfico, altamente redundada y con un mayor nivel de mantenimiento y supervisión. Por el elevado tráfico de voz del cliente será necesario realizar ampliaciones en la plataforma H.323 pero de envergadura y coste más reducidos.

Esta plataforma se encuentra conectada al *backbone* de la red de datos y es accesible desde la red MPLS, con lo que se puede encaminar el tráfico de la VPN del cliente hacia la plataforma de voz sin tener que hacer cambios en la infraestructura del operador.

Tanto por los requerimientos del cliente como por la disponibilidad de las plataformas de voz y la viabilidad económica de la solución se decide proporcionar la voz sobre H.323.

## Esquema global de la solución

La solución ofrecida al cliente para la nueva red tiene la siguiente arquitectura:



**Figura 17:** Arquitectura de la solución global para el cliente.

Tras definir las tecnologías utilizadas y la arquitectura de la solución el siguiente paso es el diseño de detalle, que consta de varias fases:

- Diseñar los enlaces de acceso para cada una de las sedes: tecnología, capacidad y ampliaciones o modificaciones necesarias en la red de acceso y transmisión.
- Definir el equipamiento a utilizar en cada una de las sedes.
- Diseñar las modificaciones o ampliaciones requeridas en la plataforma de voz para soportar el servicio ofrecido al cliente.

## **4.2 Diseño de la Red de Datos.**

### **4.2.1 Consideraciones de diseño.**

Con la arquitectura planteada el diseño de la red de datos consistirá en definir la solución de red para interconectar cada una de las sedes a la red MPLS del Operador.

En principio el diseño para cada sede se realizará de forma independiente, aunque a medida que avance el diseño se tendrán en cuenta las sinergias de red, principalmente desde dos puntos de vistas:

- La utilización de las mismas rutas o equipos de transmisión para los enlaces de acceso de varias sedes, reduciendo con ello las ampliaciones de red necesarias y el coste asociado.
- La disponibilidad de capacidad en los enlaces de la red MPLS del operador, evitando concentrar muchas sedes en el mismo equipo de acceso a la red MPLS y saturar con ello la capacidad disponible.

Como parte del diseño para la interconexión de cada una de las sedes se considera:

- La elección de la tecnología de acceso, en función de los requisitos del cliente y de la cobertura disponible en la sede. La elección del equipo y la tecnología de acceso determinarán en nodo de la red del operador al que se conectará la sede.
- La elección del equipo de acceso a la red MPLS del operador, en función de la capacidad requerida, ubicación de la sede y disponibilidad de las rutas de transmisión.
- La elección de la capacidad de los enlaces de acceso. En aquellas sedes donde no sea viable proporcionar la capacidad solicitada por el cliente será necesario buscar un punto de compromiso entre los requerimientos del cliente y el coste de la solución.
- Las ampliaciones necesarias en los equipos de acceso o de la red de datos para poder soportar el servicio proporcionado al cliente.
- El diseño de los enlaces de transmisión, en aquellos casos en los que sean necesarios. Este diseño implica fundamentalmente la elección de la tecnología y de las rutas de transmisión, la ampliación de equipos de transmisión o la instalación de equipos nuevos cuando sea necesario.
- La elección de los *routers* (CE) de cliente para cada una de las sedes.

No se considera como parte del Proyecto el diseño de bajo nivel, principalmente:

- La asignación de puertos en los equipos de red.
- La asignación de direccionamiento.
- La configuración detallada de los equipos de red.
- El cálculo de los radioenlaces.

La red del operador está constituida principalmente por tres tipos de nodos:

- **Nodos centrales.** Actúan como punto de concentración, existiendo uno por provincia a excepción de Madrid y Barcelona que disponen de varios nodos centrales. Estos nodos son el punto de entrada y salida hacia las rutas de transmisión nacionales, y albergan los equipos de agregación de la red de datos así como los del núcleo de la red. También suelen alojar las plataformas de servicio como por ejemplo las plataformas de VoIP.
- **Nodos de acceso.** Son los emplazamientos del operador desde los que se da cobertura al cliente mediante distintas tecnologías. Están distribuidos geográficamente, existiendo múltiples nodos de acceso en cada provincia, y albergan tanto equipos de acceso de diferentes tecnologías (ADSL, cable, fibra óptica, etc.) como equipos de acceso a la red de datos. Desde cada nodo de acceso parten rutas de transmisión hacia otros nodos de acceso y/o hacia los nodos centrales.
- **Nodos de acceso radio.** Este tipo de nodos son emplazamientos más pequeños que albergan sólo los equipos de acceso radio y los equipos de transmisión mínimos necesarios para las rutas de salida y salida hacia otros nodos.

Los nodos de acceso se encuentran interconectados entre sí mediante fibra, formando anillos dentro de cada provincia. Estos anillos incluyen los nodos centrales, como punto de interconexión hacia las rutas nacionales. Sobre los enlaces de fibra que interconectan los anillos suele establecerse rutas de transmisión provinciales, mediante diferentes tecnologías de transmisión, aunque hay casos en los que los enlaces son por fibra directa sin transmisión.

Los nodos centrales se encuentran interconectados entre sí por fibra óptica, formando anillos a nivel nacional. Entre los nodos centrales hay establecidas rutas de transmisión nacionales, que utilizan diversas tecnologías.

Los nodos de acceso radio suelen colgar de los nodos de acceso o de los nodos centrales, y están interconectados mediante fibra óptica sobre la que se establecen rutas de transmisión.

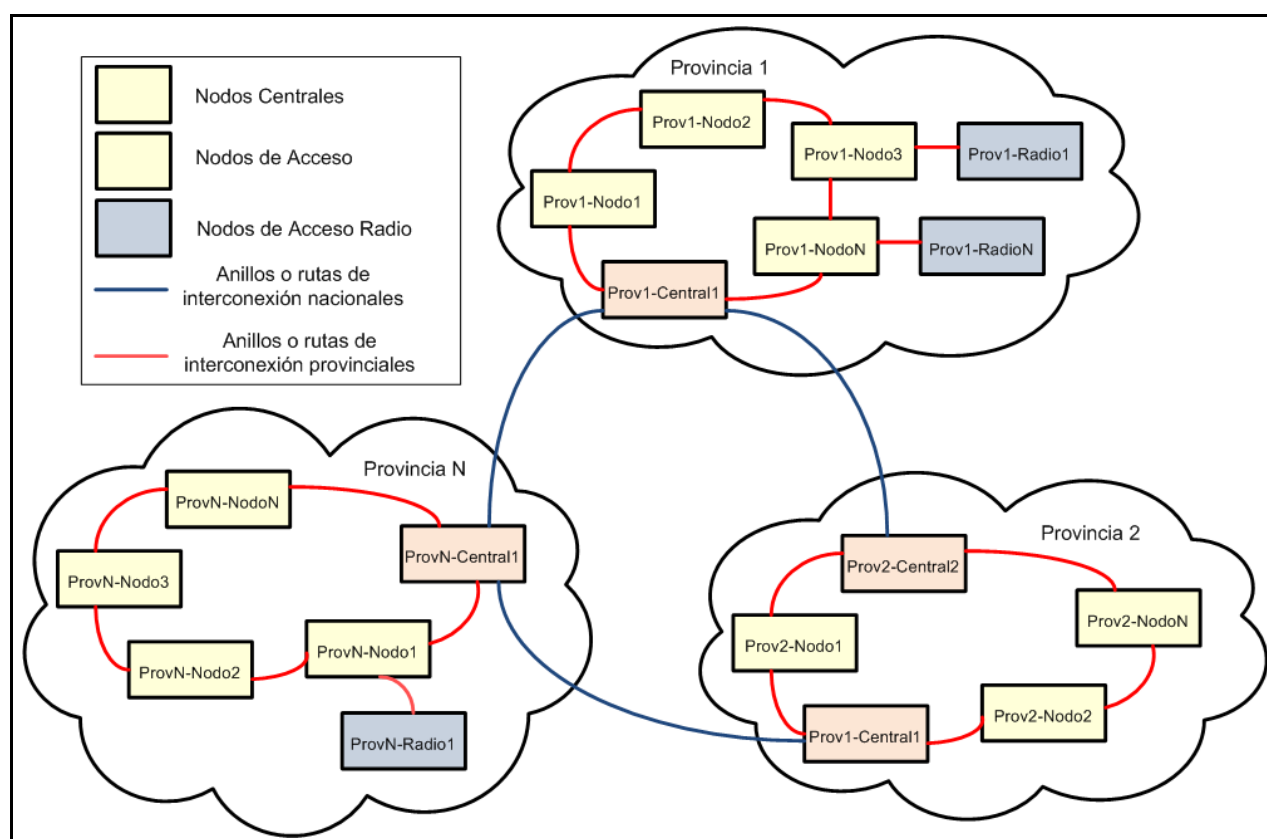


Las conexiones de fibra entre nodos suelen estar constituidas por mangueras de fibra de 32 o 64 fibras, con fibras libres para poder crear nuevas rutas de transmisión en caso de saturación.

A efectos de nomenclatura los nodos se identifican por una cadena de la forma PROVINCIA-TIPO\_NODO-NUMERO, donde:

- PROVINCIA. Es el nombre de la provincia donde se encuentra ubicado el nodo.
- TIPO\_NODO. Identifica el tipo de nodo. CENTRAL para los nodos centrales, NODO para los nodos de acceso y RADIO para los nodos de acceso radio.
- NÚMERO. Numeración que identifica unívocamente los diferentes nodos dentro de cada provincia (en el caso de los nodos centrales este campo no se utiliza cuando sólo hay un nodo por provincia).

La arquitectura de interconexión de los diferentes nodos de red del operador tiene el siguiente esquema:



**Figura 18:** Arquitectura de interconexión de los nodos de red del operador.

El diseño de la solución implica la utilización de los tres tipos de nodos. Siguiendo la nomenclatura indicada anteriormente los siguientes nodos están implicados en la solución propuesta al cliente:

Provincia	Nodos centrales	Nodos de acceso	Nodos de acceso radio
<b>Madrid</b>	Madrid-Central1	Madrid-Nodo1	
	Madrid-Central2	Madrid-Nodo2	
	Madrid-Central3	Madrid-Nodo3	
		Madrid-Nodo4	
		Madrid-Nodo5	
<b>Barcelona</b>	Barcelona-Central1	Barcelona-Nodo1	
	Barcelona-Central2	Barcelona-Nodo2	
		Barcelona-Nodo3	
<b>Sevilla</b>	Sevilla-Central	Sevilla-Nodo1	
<b>Alicante</b>	Alicante-Central	Alicante-Nodo1	Alicante-Radio1
		Alicante-Nodo2	Alicante-Radio2
<b>Valencia</b>	Valencia-Central		
<b>Tenerife</b>	Tenerife-Central	Tenerife-Nodo1	Tenerife-Radio1
<b>Las Palmas</b>	Las Palmas-Central		
<b>Badajoz</b>		Badajoz-Nodo1	Badajoz-Radio1
		Badajoz-Nodo2	
<b>Asturias</b>	Oviedo-Central		Oviedo-Radio1
<b>Pontevedra</b>	Vigo-Central		

**Tabla 2:** Nodos de la red del operador implicados en la solución.

Todas las sedes se conectarán a la red MPLS del operador mediante un doble enlace implementado por doble vía y doble acometida. Esto implica que en la medida que sea viable cada uno de los enlaces utilizará trayectos distintos (por ejemplo que las fibras ópticas transcurran por canalizaciones y calles diferentes), rutas de transmisión diferentes y equipos de acceso a la red MPLS diferentes. También implica que las acometidas o puntos de entrada al edificio sean distintos para cada uno de los enlaces.

De forma general en enlace de la primera vía se utilizará como enlace principal, mientras que el enlace que transcurre por la segunda vía se utilizará como enlace de *backup*.

#### **4.2.2 Topología de la red MPLS del Operador.**

En este apartado se describe la arquitectura de la red MPLS del operador. Esta red, que se utilizará como núcleo de la VPN-MPLS del cliente, ya se encuentra establecida por lo que no forma parte del diseño de la solución de red del cliente y por tanto del alcance del Proyecto.

Como parte del diseño y de la solución se consideran la elección de los puntos de entrada a la red MPLS (equipos de acceso a la red MPLS) así como la ampliación de elementos de red en aquellos casos en los que sea necesario, de ahí que sea importante la descripción de su topología para entender la solución.

La red MPLS del proveedor está constituida por varios niveles. La primera capa es la red de acceso formada por una red MAN (*Metro Access Network*) con equipamiento de Alcatel.

Esta capa de acceso se utiliza para conectar directamente a los clientes a la red del operador y proporciona cobertura metropolitana en los principales núcleos urbanos. A su vez está formada por dos niveles.

El primer nivel es el nivel de acceso propiamente dicho, formado por equipos Alcatel 7450 ESS (*Ethernet Service Switch*) que ofrecen una batería de puertos Ethernet, ópticos y eléctricos, que servirán de interfaz con el cliente. Estos equipos se encuentran distribuidos geográficamente y se alojan en los nodos de acceso.

El segundo nivel es el de agregación, formado por equipos Alcatel 7750 SR (*Service Router*), que actúan concentrando el tráfico procedente del primer nivel y como *router* PE de acceso a la red MPLS del operador.

En Madrid y Barcelona hay disponibles dos equipos Alcatel 7750, ubicados en distintos emplazamientos para proporcionar mayor cobertura y redundancia, mientras que en el resto de

las ciudades hay un único equipo en este nivel de agregación. Estos equipos se encuentran alojados en los nodos centrales.

Los Alcatel 7450 del primer nivel están conectados por un doble enlace *Gigabit Ethernet* con los Alcatel 7750 del nivel superior. En aquellos núcleos donde hay disponibles dos SR cada uno de los enlaces está conectado con uno de los SR, y en los casos en los que sólo hay un SR los dos enlaces irán conectados con el mismo SR. Para proporcionar mayor redundancia cada uno de los enlaces está construido por distintos caminos.

Por encima de la capa de acceso se encuentran los *routers* P, que constituyen propiamente el núcleo de la red del operador, interconectados con enlaces 10G formando una estructura mallada.

Los *routers* SR de la capa de acceso están conectados con los *routers* P mediante un doble enlace 10G. En cada provincia hay dos *routers* P y cada SR tiene un enlace 10G con cada uno de los *routers* P.

De esta forma hay dos posibles topologías, en función de las dimensiones del área a la que da cobertura la red MAN, una con doble PE y otra con PE simple.

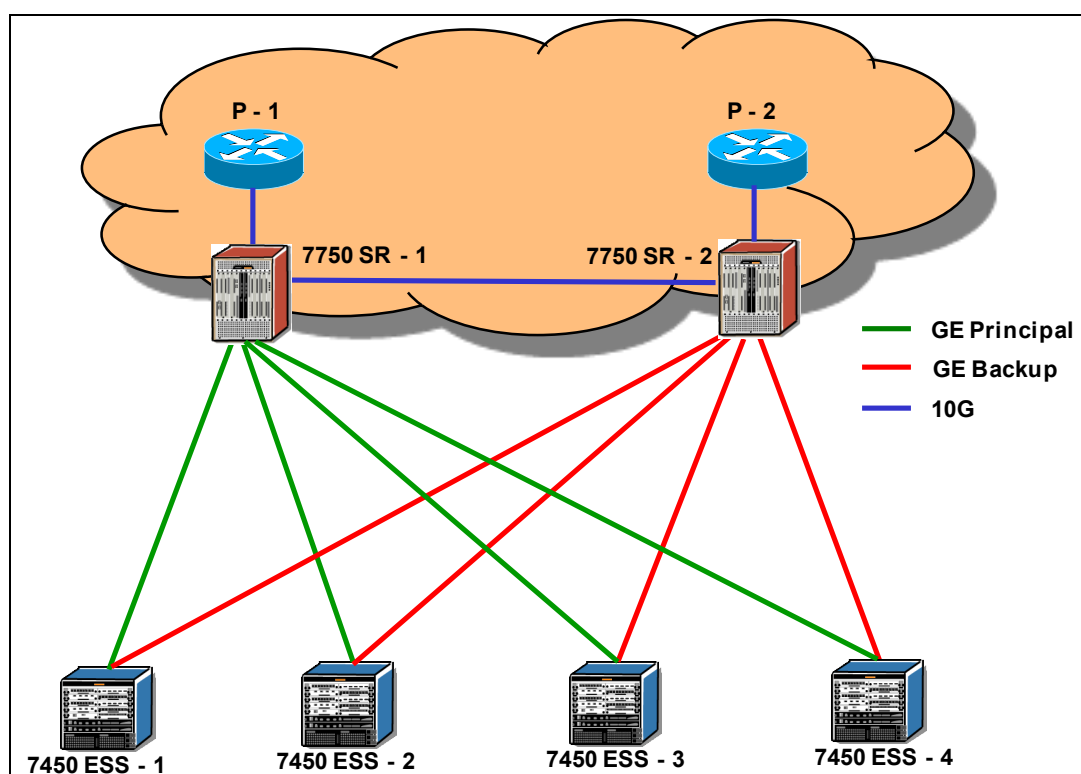


Figura 19: Topología con doble PE.

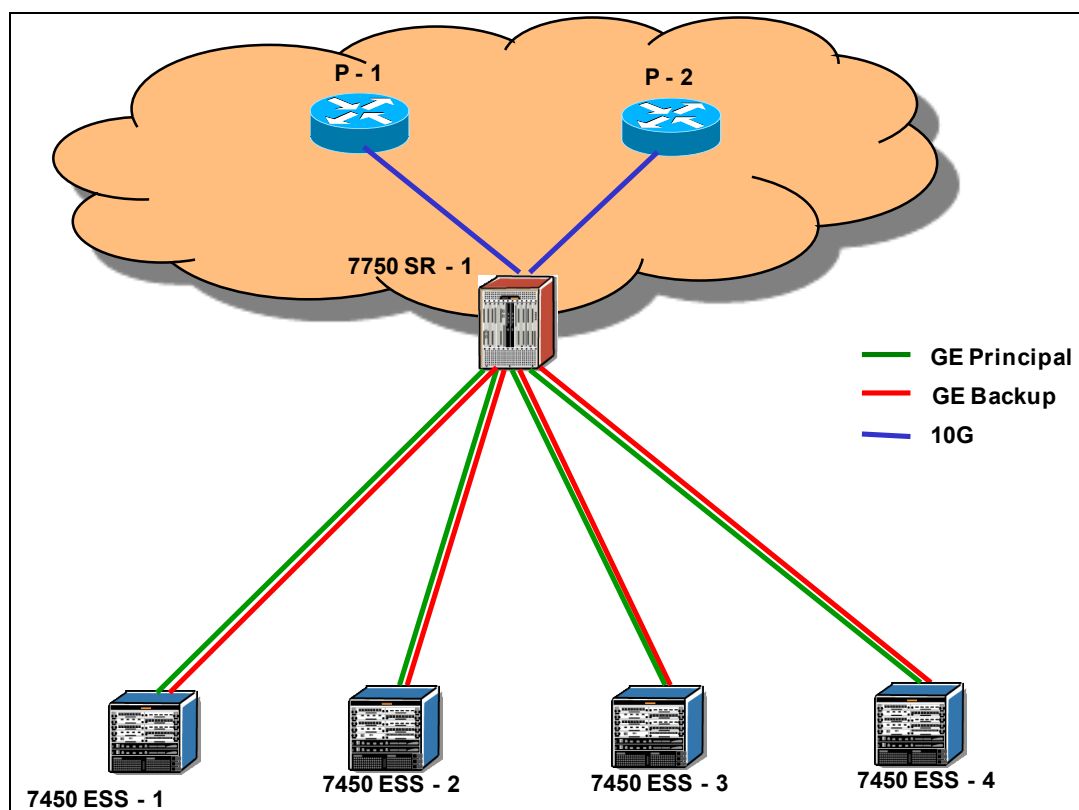


Figura 20: Topología con PE simple.

#### 4.2.3 Data Centre Madrid.

El cliente ha solicitado la creación de centros de datos donde concentrar el tráfico de voz y albergar los servidores y equipamiento necesarios para ello, de forma que la disponibilidad de un espacio con las debidas condiciones ambientales, de seguridad y redundancia, así como que el mantenimiento de los equipos pase a ser responsabilidad del proveedor de servicios.

Entre los requerimientos del cliente se especifica que los equipos deben estar alojados en un emplazamiento que pueda ser accesible por otros operadores, e incluso se pueda realizar una interconexión entre las redes de diversos operadores.

Por esta razón y por la proximidad con las oficinas centrales del cliente los Data Centre se crearán en un punto neutro de red, donde el operador ya tiene presencia, alquilando el espacio necesario para la ubicación de los equipos.

El Data Centre estará conectado a la red VPN-MPLS del cliente, tanto para la comunicación con el resto de las sedes como para la comunicación con la plataforma de voz del operador.

Dado el caudal de datos solicitado por el cliente es necesario conectar esta sede directamente a los PE del nivel de agregación (Alcatel 7750 SR), tanto por la capacidad de procesamiento de los equipos del nivel de acceso como por la capacidad de los enlaces entre la capa de acceso y la de agregación. Como se ha visto en la descripción de la topología los enlaces entre el primer nivel de acceso (7450 ESS, en adelante ESS) y la capa de agregación (7750 SR, en adelante SR) tienen capacidad de 1GB, con lo que los 900 MB requeridos por el cliente saturarían el enlace.

En el caso de Madrid la topología de la red del operador está constituida por dos SR, uno de ellos ubicado en el nodo Madrid-Central1 y el otro en el nodo Madrid-Central2.

Para proporcionar redundancia se establecerán dos enlaces entre el emplazamiento del Data Centre y los nodos del operador donde se encuentran ubicados los SR de acceso a la red MPLS (puntos de entrada a la red MPLS). Cada uno de los enlaces se conectará con uno de los SR.

Al tratarse de un punto neutro de red donde habitualmente se entregan servicios a otros clientes el emplazamiento ya tiene cobertura con fibra óptica por doble vía y doble acometida, siendo además la fibra óptica directa la tecnología más recomendable para el acceso por la capacidad requerida y la posibilidad de futuras ampliaciones. El operador también dispone de equipamiento de transmisión instalado dentro del punto neutro.

Una vez definida la tecnología de acceso y los puntos de entrada a la red MPLS es necesario definir el camino a seguir por los enlaces y las posibles ampliaciones de equipamiento en red. Para proporcionar redundancia cada uno de los enlaces tendrá que seguir caminos diferentes.

Para la primera vía se establecerá un enlace GBE entre el Data Centre y el SR de acceso a la red MPLS. Este enlace tiene capacidad para el caudal requerido por el cliente, que puede ser controlado y limitado mediante configuración en el PE, y margen para pequeñas ampliaciones de capacidad. Para dotar de mayor flexibilidad a la solución de cara a ampliaciones futuras se podría establecer un enlace 10G de partida pero el incremento de costes sería muy elevado.

Se utilizará fibra óptica directa desde el emplazamiento del Data Centre hasta el nodo de acceso Madrid-Nodo1, próximo a este emplazamiento, haciendo uso del tendido de fibra ya existente entre ambos puntos y activando un nuevo enlace. La activación implica la fusión de fibras en caso de ser necesaria y las mediciones de potencia para comprobar la continuidad y correcto estado del enlace.

Para la conexión entre el CPE del cliente, ubicado en el espacio alquilado, y el punto de entrada de la fibra óptica al edificio es necesario contemplar la extensión de la fibra entre ambos puntos, operación que se conoce como parcheo, que al estar dentro de un punto neutro se contrata a la empresa propietaria del espacio.

En este tipo de escenarios es habitual la existencia de una sala, conocida como *Meet Me Room*, donde se realiza la interconexión entre operadores, o entre el operador y el cliente. Para realizar esa interconexión se hará una extensión de cableado desde la sala donde se encuentra la entrada de fibra del operador hasta la Meet Me Room, conectándola a un repartidor, y por el otro extremo se hará una extensión desde la sala alquilada para alojar los equipos del cliente hasta el mismo repartidor.

Desde Madrid-Nodo1 hasta Madrid-Central1 al tratarse de red troncal se evita emplear la fibra directa para dar servicio a un único cliente, ya que supondría un mal aprovechamiento de los recursos, y en su lugar se montan enlaces de transmisión que permiten soportar múltiples servicios sobre la misma fibra.

Por tanto a partir del primer nodo el enlace GBE continuará por transmisión, tratando siempre de utilizar las rutas de transmisión existentes y con capacidad disponible para reducir las inversiones adicionales en equipamiento.

En los casos en los que se monta un enlace por transmisión el diseño del mismo se hace en varios pasos, fundamentalmente:

- Definir el camino a seguir en función de los nodos origen y destino, y de las rutas disponibles. En caso de no haber rutas disponibles habría que comprobar la disponibilidad de fibra para el establecimiento de nuevas rutas o tramos, y elegir la tecnología y equipos de transmisión a utilizar para la nueva ruta.
- Comprobar la capacidad disponible en cada tramo para añadir un nuevo servicio.
- Definir las ampliaciones necesarias en los equipos de transmisión para soportar el servicio.
- Comprobar la capacidad de los equipos de transmisión que forman el vano para alojar tarjetería adicional en caso de ser necesaria.

Cuando hay rutas de transmisión disponibles la tecnología a utilizar viene marcada por la tecnología con la que están implementadas las rutas existentes, siempre que permita la capacidad requerida por los enlaces.

Cuando es necesario crear nuevas rutas o enlaces de transmisión la tecnología a utilizar depende principalmente de la capacidad requerida.

Como criterio general para capacidades de hasta STM4 (622 Mbps) lo habitual es utilizar SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), ya que permite una mayor granularidad, especialmente con circuitos de baja capacidad, pudiendo multiplexar dentro de la trama SDH circuitos desde E1 (2 Mbps) o concatenación de E1s, pasando por E3 (34 Mbps), STM1 (155 Mbps), etc.

Aunque la tecnología SDH también permite la transmisión de circuitos de alta capacidad, pudiendo multiplexar varias tramas STM1 hasta llegar a niveles de STM256 (40 Gbps), el coste de los equipos hace que la mayor parte de las rutas de transmisión implementadas por los operadores sólo ofrezcan capacidades de hasta STM16 (2.5 Gbps), o STM64 (10Gbps) en el caso de algunas rutas nacionales. De esta forma un único enlace GBE consumiría gran parte de la capacidad disponible en la ruta de transmisión.

Para circuitos de alta capacidad resulta más adecuado el uso de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) en cualquiera de sus variantes, CWDM (*Coarse WDM*) o DWDM (*Dense WDM*). En el caso de CWDM se pueden transmitir, dependiendo del equipo y de la implementación del fabricante, hasta 18 canales por enlace, con 2.5 Gbps por canal. En el caso de DWDM se pueden multiplexar hasta 192 canales por enlace, con 2.5 Gbps o 10Gbps por canal.

Esta elevada capacidad junto con el coste de los equipos hace que la tecnología WDM resulte más adecuada frente a SDH para la transmisión de circuitos de alta capacidad. A modo de ejemplo un enlace SDH con capacidad STM16, con equipos Alcatel 1660 y las tarjetas necesarias para extraer un circuito GBE en ambos extremos, puede tener un coste casi tres veces superior a un enlace CWDM con equipos Alcatel 1692 (de 8 canales 2.5G) y las tarjetas necesarias para extraer el circuito GBE. Si tenemos en cuenta la escalabilidad para este mismo ejemplo, mientras que el enlace SDH sólo permitiría el transporte de 2 circuitos GBE, el enlace CWDM podría llegar a transportar hasta 16 circuitos GBE sobre la misma fibra óptica.

La utilización de CWDM o DWDM depende de las distancias a cubrir por los enlaces y en gran medida del coste, ya que aunque la tecnología DWDM permita una mayor capacidad de transmisión el coste de los equipos puede ser un 40 ó 50% más elevado. Esto viene dado por la necesidad de utilizar láseres de mayor precisión y filtros más complejos, además de requerir generalmente más espacio y potencia de alimentación. Por el contrario DWDM permite cubrir distancias de hasta 140-150Km sin amplificación frente a los 60-80Km de CWDM.

Por tanto lo habitual es utilizar CWDM en entornos metropolitanos y DWDM para las rutas de transmisión nacionales.



En el caso del enlace GBE de la primera vía desde Madrid-Nodo1 hasta Madrid-Central1 hay una ruta directa, constituida por un vano de capa montado entre ambos nodos con equipos CWDM Alcatel 1692, que será necesario ampliar con sendos módulos GBE.

Adicionalmente hay que equipar un puerto del 7750 SR de Madrid-Central1 con un módulo de interfaz óptico SFP SX.

Para seleccionar las rutas de transmisión se utilizan los mapas de red del operador<sup>4</sup>. Estos mapas muestran las rutas de transmisión existentes, los nodos por los que pasan y los equipos que las constituyen. Hay mapas de la red de transmisión nacional y de las redes de transmisión provinciales (que incluyen las áreas metropolitanas). Una vez seleccionada la ruta en función de los nodos origen y destino se verifica la disponibilidad de capacidad, puertos y tarjetas en un inventario de red y se confirma con los grupos de ingeniería de cada territorio la disponibilidad de los recursos (por si estuvieran destinados a otros proyectos).

En segunda vía se propone como solución aprovechar una ruta de transmisión que sale desde el propio punto neutro. Esta ruta contempla tres tramos, cada uno de ellos constituido por un vano de capa montado con equipos de transmisión Siemens FSP2000. El primer tramo va desde Madrid-Norte hasta Madrid-Central3, el segundo desde Madrid-Central3 hasta Madrid-Nodo5, y el tercero desde Madrid-Nodo5 hasta Madrid-Central2.

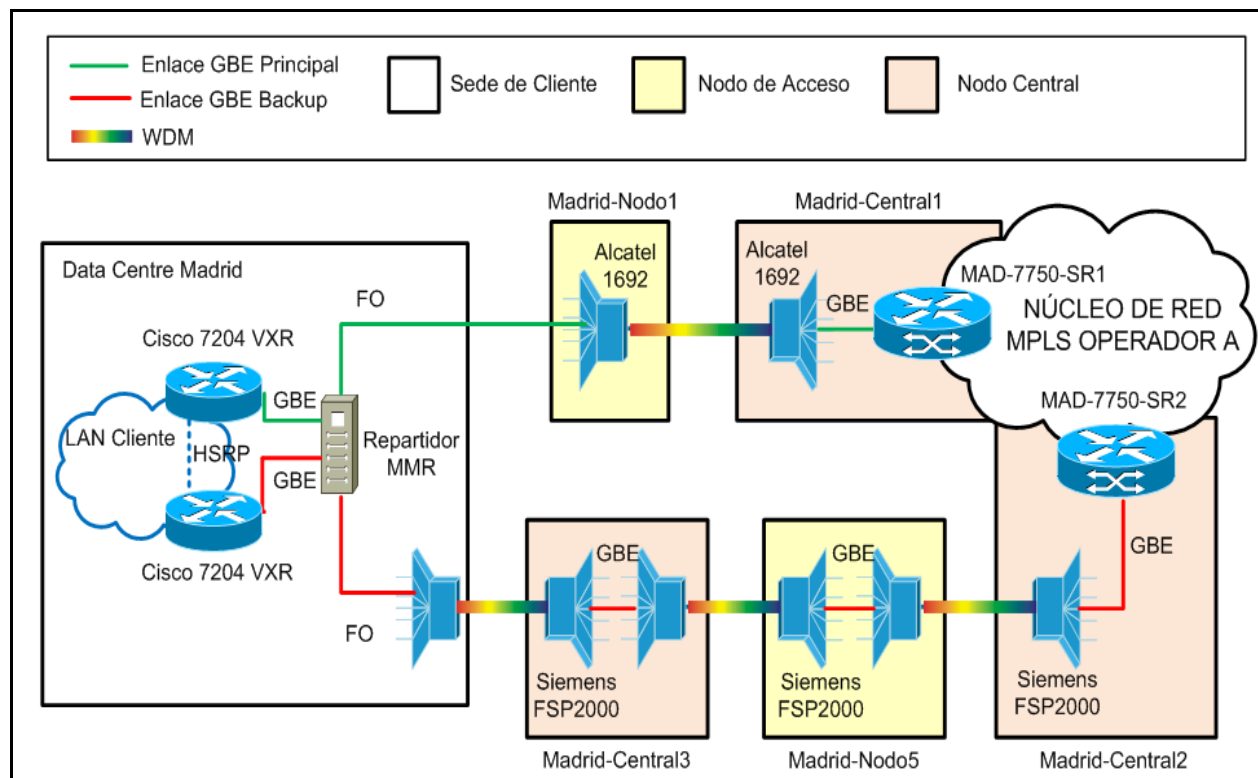
Los equipos FSP2000 son equipos modulares que pueden trabajar tanto en CWDM como en DWDM en función de los módulos y tarjetas que se equipen. En este caso, dado que se trata de rutas metropolitanas, operan en CWDM.

Por la capacidad requerida por el cliente se establecerá un enlace GBE entre el Data Centre y el punto de acceso a la red MPLS. Para ello hay es necesario únicamente equipar los FSP2000 con tarjetas 2TCM en cada uno de los tramos. Adicionalmente hay que equipar un puerto del 7750 SR de Madrid-Central1 con un módulo de interfaz óptico SFP SX.

---

<sup>4</sup> Los mapas de red y las herramientas de inventario son desarrollos propietarios del Operador. Por motivos de confidencialidad estos elementos no se muestran en la memoria.

Con todos los elementos definidos el esquema de la solución de red para esta sede sería el siguiente<sup>5</sup>:



**Figura 21:** Esquema de red Data Centre Madrid.

#### 4.2.4 Data Centre Barcelona.

El segundo centro de datos se ubicará en Barcelona para proporcionar una mayor redundancia, ya que se utilizarán distintos SRs para el acceso a la red MPLS, distintos emplazamientos y distintas rutas de transmisión con respecto al centro de Madrid. Por otro lado el cliente dispone de varias sedes importantes situadas en el área geográfica de Barcelona, por lo que también le interesa tener un centro de datos en esta ciudad.

Este centro se utilizará como un segundo punto de entrega de tráfico de voz desde o hacia la plataforma de voz del operador, de forma que ambos Data Centre actuarán de backup entre sí y ante una incidencia en uno de ellos todo el tráfico de voz se encaminaría hacia el otro punto

<sup>5</sup> El criterio de colores para identificar los distintos tipos de nodos será el mismo en todos los esquemas, por lo que no se representarán en la leyenda del resto de esquemas.

para poder mantener el servicio. Por tanto este centro estará conectado a la red VPN-MPLS del cliente, tanto para la comunicación con el resto de las sedes como con la plataforma de voz.

Al igual que en el caso de Madrid el centro de datos se ubicará en un punto neutro de red, donde el operador tiene presencia y se alquilará el espacio necesario para albergar el equipamiento. Tratándose de un punto de presencia del operador el emplazamiento ya dispone de cobertura de fibra óptica por doble vía y doble acometida, así como equipamiento de transmisión instalado, que podrá ser utilizado para los enlaces con la red de datos.

Por el caudal de datos requerido para esta sede se puede optar por conectar los enlaces directamente a los PE del nivel de agregación o a los equipos del nivel de acceso. Aunque el caudal solicitado no saturaría los enlaces entre ambos niveles consumiría una parte importante de la capacidad existente con lo que la decisión dependerá de los puntos de acceso a la red MPLS más cercanos al cliente y del estado de los enlaces.

La red MAN de Barcelona tiene una topología con doble SR en la capa de agregación, con uno de los SR ubicado en el nodo Barcelona-Central1 y el otro en Barcelona-Central2.

La redundancia se implementará mediante dos enlaces entre el emplazamiento del Data Centre y la red MPLS que, dada la capacidad y antes las posibles necesidades de ampliación futuras, serán GBE.

Para la primera vía se pueden utilizar caminos de fibra óptica existentes hasta el propio punto neutro, con lo que se establecerá un enlace directo de fibra óptica entre el centro de datos y Barcelona-Central2 para lo que será necesario únicamente realizar la activación del enlace.

Adicionalmente habrá que equipar un puerto del 7750 SR de Barcelona-Central2 con un interfaz óptico SFP LX. También será necesario realizar el parcheo desde el punto de entrada de la fibra al edificio hasta la MMR y desde ésta a la sala donde se instalarán los CPE del cliente.

En la segunda vía se utilizará también la fibra óptica disponible, en este caso por la segunda acometida al punto neutro, creando un enlace directo de fibra entre el centro de datos y el nodo Barcelona-Nodo1.

Dentro de este nodo se encuentra ubicado un equipo 7450 ESS de acceso a la red MPLS, que tiene enlaces redundados contra los dos SR de la capa de agregación de Barcelona, de forma que ante la caída de uno de los enlace o de uno de los SR conmutaría al otro para el reenvío del tráfico. En este caso ya que existe la posibilidad de conexión directa por fibra entre el



#### 4.2.5 Madrid I.

Esta es una de las sedes principales del cliente donde el operador ya proporcionaba varios servicios al cliente, entre ellos los enlaces *Fast Ethernet* que forman el triángulo de comunicaciones entre las sedes principales, por lo que dispone de cobertura con fibra óptica por doble acometida.

Para la entrega del servicio VPN-MPLS se establecerán dos enlaces GBE por fibra óptica y dado el caudal solicitado se pueden conectar a los 7450-ESS del primer nivel de acceso. El utilizar fibra óptica garantiza que en un futuro se pueda migrar a otros servicios de mayor capacidad reemplazando únicamente el equipamiento.

En el enlace de la primera vía se utilizará la fibra óptica existente, que interconecta la sede del cliente con el nodo Madrid-Nodo2, pero para evitar el corte de servicio en los enlaces *Fast Ethernet* se activará un nuevo enlace de fibra.

Dentro de este nodo se encuentra ubicado un 7450 ESS de acceso a la red MPLS, con lo que el cliente se conectará directamente por fibra a este equipo, que a su vez se encuentra redundado por un doble enlace con los dos SR de la capa de agregación de Madrid.

Por la distancia entre la sede del cliente y el nodo habrá que equipar el ESS con un interfaz óptico SFP LX.

En la segunda vía hay fibra óptica disponible utilizando un punto de acometida diferente al de la primera vía. Para un mayor nivel de redundancia la solución ideal sería ir hasta un nodo diferente al de la primera vía, ya que si las dos vías entran al mismo nodo ante una caída de la alimentación eléctrica o en caso de catástrofe existe mayor riesgo de perder la comunicación por ambas vías.

Por la ubicación geográfica de la sede del cliente esta solución sería económicamente inviable. El siguiente nodo más próximo se encuentra ubicado a varios kilómetros y llegar hasta él sin pasar por Madrid-Nodo2 supondría tener que hacer nuevos tendidos de fibra y obra civil que encarecerían mucho la solución.

Por tanto, para la segunda vía se ha optado por una solución intermedia, utilizando fibra directa desde el cliente hasta Madrid-Nodo2 y desde ahí hasta otro nodo para entrar en la red MPLS, con lo que se consigue redundancia en el equipamiento de acceso.

En general la selección del punto o equipo de acceso a la red MPLS se realiza siguiendo una serie de criterios. Si el nodo de acceso que da cobertura a la sede del cliente dispone de

equipo de acceso a la red MPLS se utilizará este equipo, siempre que no esté saturado y haya capacidad en los enlaces hacia la red MPLS para soportar el caudal solicitado por el cliente.

Si el nodo de acceso no dispone de equipo de acceso a la red MPLS el siguiente paso es buscar el nodo más próximo que disponga de equipos y no esté saturado. Se considera como nodo más próximo aquel que disponga de rutas de transmisión con el nodo de acceso con el menor número de tramos posibles (un menor número de tramos de transmisión implica un menor número de equipos por los que tendría que pasar el enlace aumentando con ello su fiabilidad).

En caso de no existir rutas de transmisión con nodos cercanos se buscarán nodos que dispongan de conexión por fibra con el nodo de acceso (con fibras disponibles), pudiendo establecer así nuevas rutas de transmisión para el transporte de los enlaces.

Si existieran varios nodos próximos con las mismas características se seleccionará aquel que requiera menores inversiones en transmisión o el que disponga de mayor capacidad en los enlaces hacia la red MPLS.

Para determinar los nodos más próximos a un determinado nodo de acceso se utilizan los mapas de red del operador.

En este caso el nodo más próximo a Madrid-Nodo2 es Madrid-Nodo3. Ambos nodos están conectados directamente por fibra por lo que se podría prolongar en enlace procedente del cliente mediante fusión de fibras llegando por un enlace directo de fibra desde el cliente hasta Madrid-Nodo3. Esta solución sería sencilla de implementar pero no es la más adecuada desde el punto de vista de optimización de recursos de red, ya que se estaría utilizando una fibra entre nodos (recurso escaso y caro) para dar servicio a un único cliente.

La solución más adecuada es utilizar transmisión para ir desde Madrid-Nodo2 a Madrid-Nodo3. Dado que no hay ningún enlace de transmisión con capacidad disponible se establecerá un nuevo vano de capa WDM entre ambos nodos. Al tratarse de nodos ubicados en el área metropolitana se utilizará tecnología CWDM, principalmente por razones de coste tal y como se ha comentado anteriormente.

En el área de Madrid la red de transmisión está constituida principalmente por equipamiento de Alcatel, aunque también existen rutas con equipamiento de Siemens. En general resulta conveniente trabajar con el equipamiento desplegado en la red (siempre que soporte los requisitos necesarios para dar servicio al cliente) por varios motivos:

- Homogeneidad de la red.
- Operación y mantenimiento. Por una parte cada fabricante dispone de sus propios sistemas de gestión de equipos, que han de estar conectados a su vez a una red de gestión. Introducir equipos o fabricantes diferentes supondría tener que homologar los equipos, desplegar un nuevo sistema de gestión (que implica una serie de costes adicionales), y hacer cambios en la red de gestión para poder interconectar los equipos con el sistema de gestión. Por otro lado el personal de operación y mantenimiento tiene mayor experiencia y conocimiento en los equipos que ya hay desplegados en la red. Introducir equipos diferentes supondría tener que dar formaciones (que tienen un coste asociado tanto en términos económicos como de tiempo), y contar con menos experiencia en la resolución de incidencias.
- Disponibilidad de repuestos. Para montar nuevos equipos habría que garantizar la disponibilidad de repuestos, lo que supondría comprar componentes incrementado con ello los costes del proyecto. En el caso de utilizar equipos ya desplegados la disponibilidad de repuestos está garantizada y no supone un coste adicional para el proyecto.

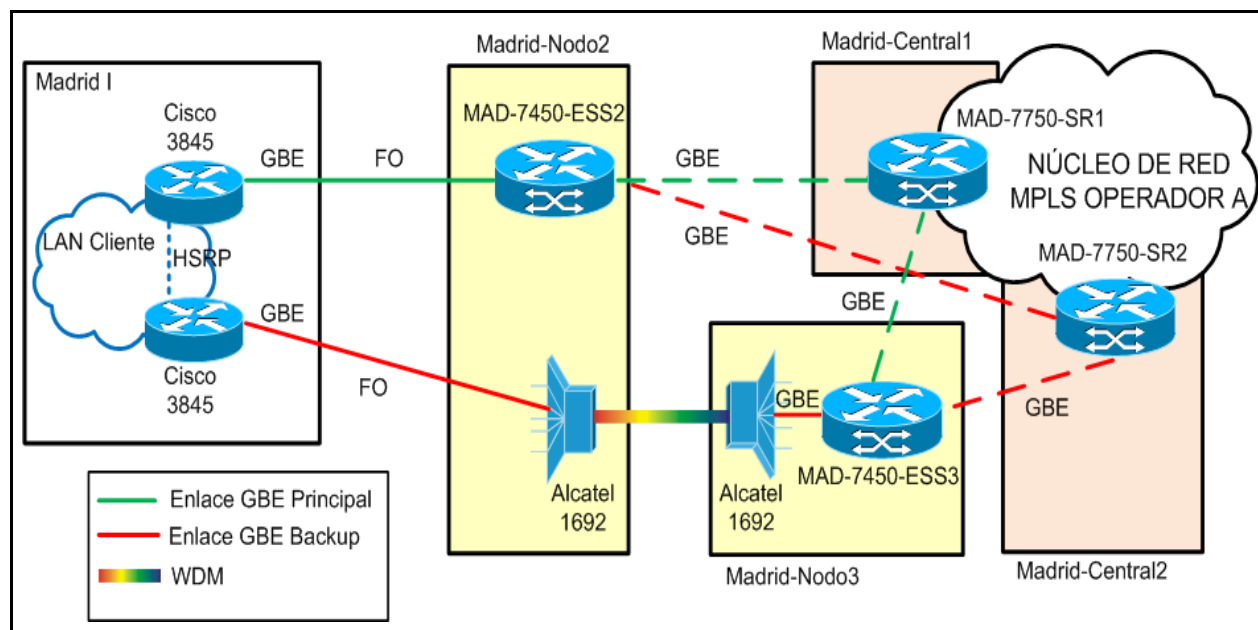
Utilizando equipamiento de Alcatel se podrían utilizar equipos 1692 permiten operar en CWDM con 8 canales a 2.5 Gbps por canal. Utilizando equipamiento de Siemens se podrían utilizar equipos FSP2000 que permiten operar en modo mixto CDWM/DWDM con hasta 32 canales a 2.5Gbps.

En este caso dado se optará por utilizar equipos de Alcatel por homogeneidad con el despliegue de la red del operador y por el mayor coste de los equipos de Siemens, en torno a un 30% superior.

Por tanto para ir desde Madrid-Nodo2 a Madrid-Nodo3 se establecerá una nueva ruta de transmisión montando en ambos extremos equipos Alcatel 1692 con tarjetas 4xany y los módulos GBE correspondientes. En el extremo de Madrid-Nodo2 se utilizará un módulo óptico de media distancia SFP LX y en el extremo de Madrid-Nodo3 de corta distancia SFP SX.

En Madrid-Nodo3 hay un ESS al que se conectará el enlace de la segunda vía para el acceso a la red MPLS, siendo necesario equipar un puerto del equipo con un interfaz óptico SFP SX. Este equipo a su vez se encuentra conectado a los dos SR de la capa de agregación.

El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 23:** Esquema de red Madrid I.

#### 4.2.6 Madrid II.

Esta es otra de las sedes principales del cliente, también conectada al triángulo de enlaces *Fast Ethernet*, por lo que también dispone de cobertura con fibra óptica por doble vía y doble acometida que puede utilizarse para establecer los nuevos enlaces hacia la red VPN-MPLS.

Esta sede se encuentra situada muy cerca de Madrid I por lo que los nodos más cercanos del operador y la cobertura de red es la misma. La solución planteada será muy similar en ambas sedes e incluso se puede definir de forma que se pueda aprovechar parte del equipamiento necesario para la implantación de Madrid I.

Dada la disponibilidad de fibra en la propia sede del cliente se utilizarán dos enlaces GBE para el acceso a la red MPLS, a la que por la capacidad solicitada se podrá acceder por los equipos 7450 ESS del primer nivel.



Para la primera vía se utilizará la fibra óptica disponible activando un nuevo enlace de fibra entre la sede del cliente y Madrid-Nodo2, donde se encuentra ubicado el ESS de acceso a la red MPLS que a su vez dispone de enlaces GBE con los dos SR de la capa de agregación de Madrid.

Por la distancia entre la sede del cliente y el nodo habrá que equipar el ESS con un interfaz óptico SFP LX.

En la segunda vía se utilizará la fibra óptica disponible en la segunda acometida al edificio. Al igual que en el caso de Madrid I la ubicación de los nodos hace prácticamente inviable poder llegar a un nodo diferente por fibra óptica directa, por lo que se optará por llegar en fibra hasta Madrid-Nodo2, utilizando caminos de fibra diferentes a los de la primera vía, y de ahí llevar el enlace por transmisión a Madrid-Nodo3, donde hay otro ESS de acceso a la red MPLS.

En este caso se podría aprovechar el nuevo vano de capa a instalar para la solución de Madrid I, con lo que sólo habría que equipar las tarjetas 4xany ya contempladas con los módulos ópticos correspondientes, un interfaz de media distancia SFP LX en el extremo de Madrid-Nodo2 y un interfaz de corta distancia SFP SX en Madrid-Nodo3.

Cada tarjeta 4xany puede soportar hasta cuatro servicios, aunque en el caso de enlaces GBE dado que el ancho de banda por canal es de 2.5Gbps podrían darse únicamente dos enlaces GBE por tarjeta. De esta forma con la pareja de tarjetas que se ha considerado en la solución de Madrid I se podrían transportar los dos enlaces GBE, el de Madrid I y el de Madrid II.

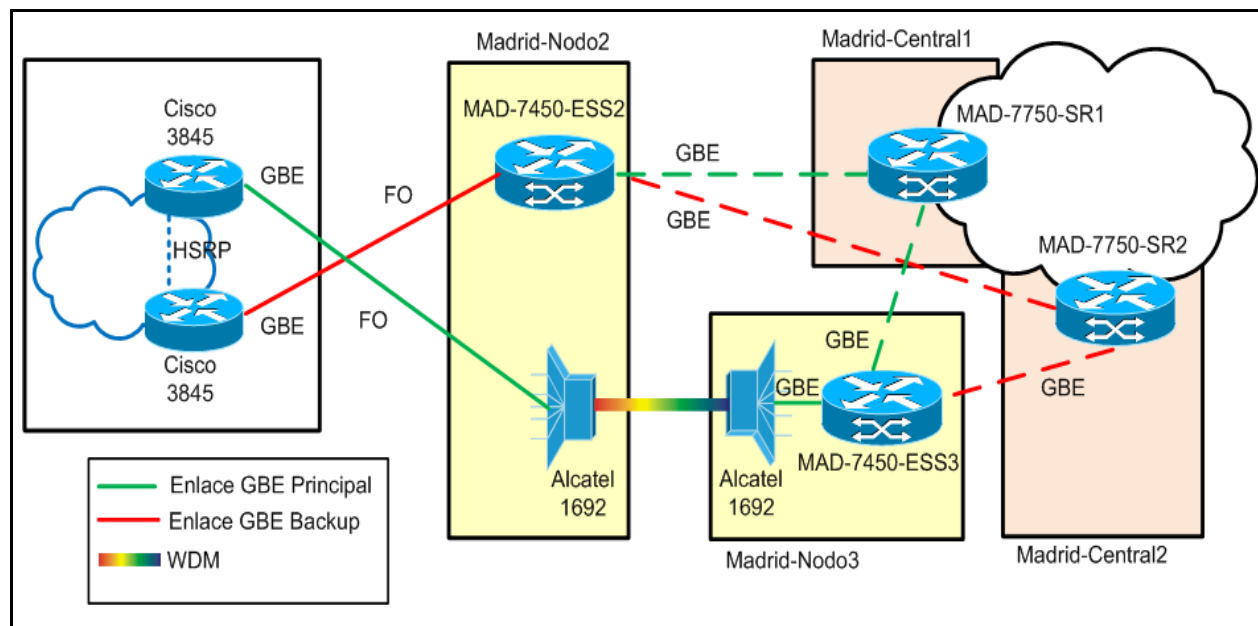
Como alternativa para introducir cierta redundancia entre las sedes de Madrid I y Madrid II, dado que los trayectos de fibra desde las sedes hasta Madrid-Nodo 2 son coincidentes en gran parte del camino se puede intercambiar el papel de cada una de las vías. De esta forma para Madrid II la segunda vía se utilizará para el enlace principal y la primera para el enlace de *backup*.

Adicionalmente se puede considerar introducir una segunda pareja de tarjetas 4xany para Madrid II, en lugar de utilizar las mismas de Madrid I (cada tarjeta 4xany puede soportar hasta cuatro servicios), con lo que habría redundancia a nivel de tarjetas.

Con esta solución ante una avería de las tarjetas de transmisión, por ejemplo, se evita la caída simultánea de los enlaces principales de ambas sedes, haciendo el servicio proporcionado al cliente más robusto con un coste reducido.

En el 7450-ESS de Madrid-Nodo3 habrá que equipar un puerto con un interfaz óptico SFP SX.

Considerando las soluciones alternativas propuestas el esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 24:** Esquema de red Madrid II.

#### 4.2.7 Madrid III.

Esta es la tercera de las sedes principales en Madrid conectada al triángulo de enlaces *Fast Ethernet*, con lo que dispone de cobertura con fibra óptica por doble vía y doble acometida que podrá utilizarse para los nuevos enlaces hacia la red VPN-MPLS.

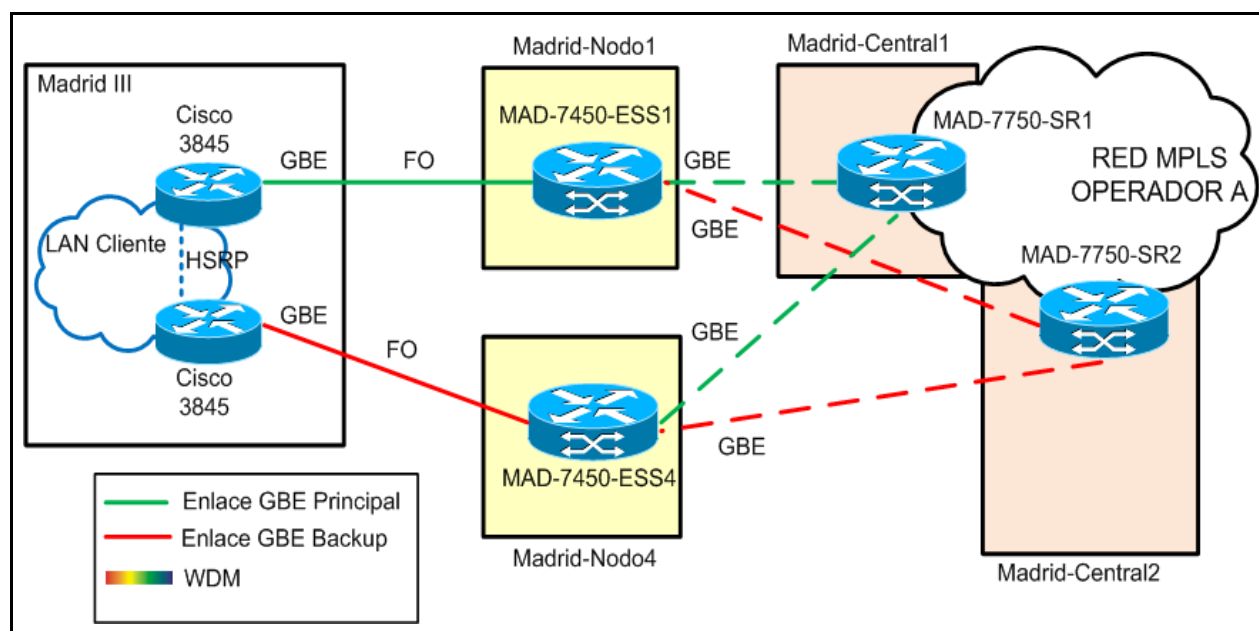
Aprovechando la fibra óptica desplegada hasta la propia sede del cliente se utilizarán dos enlaces GBE para el acceso a la red MPLS. En este caso la capacidad solicitada está al límite que se suele considerar para conectar a un cliente al nivel de acceso o directamente a la capa de agregación, y la decisión para optar por una u otra se tomará en función del nivel de ocupación de los enlaces entre ambas capas.

Para la primera vía se utilizará la fibra óptica existente, activando un nuevo enlace desde la sede del cliente hasta el nodo Madrid-Nodo1 (nodo que da cobertura por fibra a la sede), donde hay un 7450 ESS de acceso a la red MPLS. En este equipo hay pocos clientes alojados y el nivel de ocupación es bajo, por lo que se conectará al cliente a este equipo por fibra óptica directa, para lo que se equipará un puerto con un interfaz óptico SFP LX.

Para la segunda vía se utilizará la fibra disponible por la segunda acometida, activando un nuevo enlace contra el nodo Madrid-Nodo4. En este nodo también hay un 7450 ESS de

acceso a la red MPLS con un nivel de ocupación bajo en los enlaces hacia el nivel de agregación, por lo que se conectará al cliente directamente a este equipo. Para este enlace la distancia desde la sede del cliente al nodo de acceso es más elevada por lo que se equipará el puerto del 7450-ESS con un interfaz óptico de larga distancia SFP ZX. Al igual que en otros nodos los 7450-ESS tienen un enlace GBE con cada uno de los SR para disponer de redundancia hacia el nivel de agregación.

El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 25:** Esquema de red Madrid III.

#### 4.2.8 Madrid IV.

La sede se encuentra ubicada cerca del nodo de acceso Madrid-Nodo3, que dispone de equipamiento de acceso a la red MPLS, y tiene cobertura con fibra óptica por lo que la solución que se plantea es la utilización de fibra directa desde el cliente hasta el nodo de acceso.

Esta sede dispone de una acometida en fibra que se utilizará para el enlace de la primera vía. En este caso para establecer el enlace hasta el nodo del operador hay tramos en los que no hay fibras disponibles pero si existe capacidad en la canalización, por lo que será necesario hacer nuevos tendidos de fibra en esos tramos (300 metros) y activar un enlace desde el cliente hasta el nodo.

El cálculo de los metros de tendido y/o canalización necesarios para enlazar la sede con la red desplegada la realiza el grupo de planta externa del operador. Para ello apoyan en herramientas GIS con los mapas de las ciudades e información de la red desplegada.

Para el acceso a la red MPLS en Madrid-Nodo3 hay un 7450-ESS disponible. De nuevo, por la capacidad solicitada, se plantea la alternativa de conectar el cliente directamente a este equipo o llevarlo hasta uno de los SR de la capa de agregación, teniendo en cuenta además que las sedes de Madrid I y Madrid II ya se han conectado a este equipo, con lo que entre las tres sedes consumirían 400 Mbps de capacidad en el peor de los casos (para Madrid I se trata de la segunda vía por lo que sólo consumirá la capacidad en caso de caída de la primera vía). Aún con las tres sedes conectadas el nivel de ocupación del enlace sería inferior al 60% por lo que la decisión adoptada es la de conectar el cliente al ESS, el cual habrá que equipar con un puerto con un interfaz óptico SFP LX.

Para la segunda vía esta sede no tiene doble acometida por lo que será necesario realizar obra civil para construir el acceso al edificio por un punto diferente al de la primera vía, ya que es requisito indispensable del cliente disponer de doble enlace en todas las sedes. El nodo más próximo es Madrid-Nodo3 y por la localización geográfica no es viable (o resultaría extremadamente caro) llegar con fibra directa hasta otro nodo de acceso con lo que las posibles soluciones pasan por ir a través de Madrid-Nodo3.

En este caso para poder seguir caminos de fibra disjuntos en primera y segunda vía además de las obras de canalización para la acometida (210 metros) será necesario realizar nuevos tendidos de fibra (1100 metros) por canalización existente y activar el enlace desde el cliente hasta el nodo.

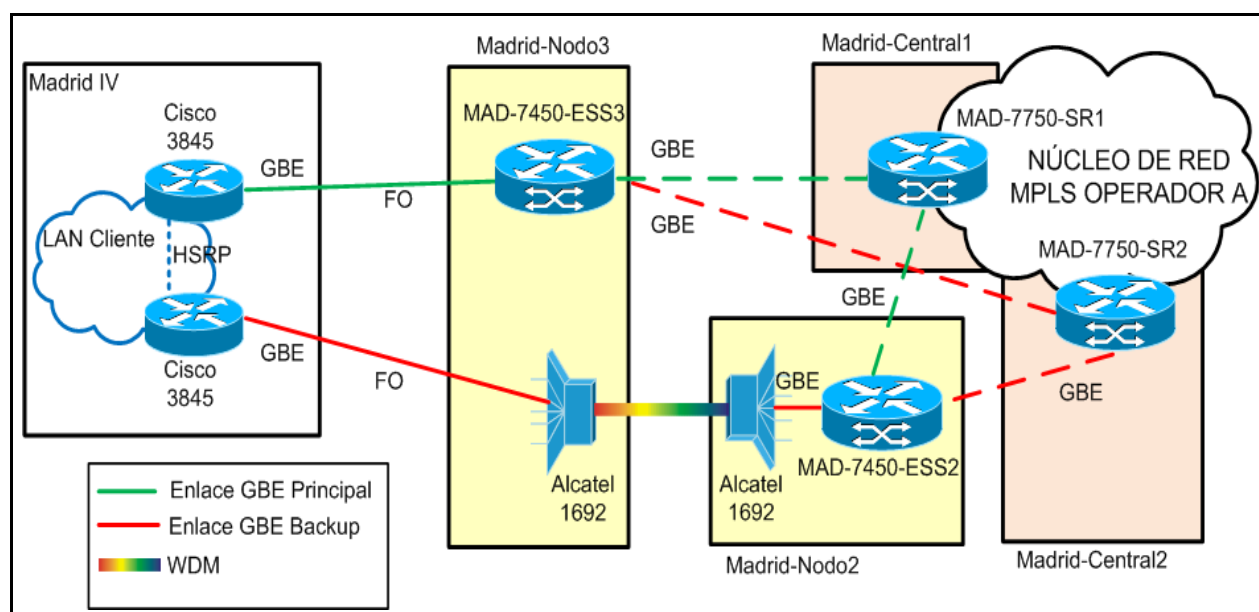
Desde Madrid-Nodo3 los nodos más próximos con equipamiento de acceso a la red MPLS son Madrid-Nodo1 y Madrid-Nodo2. Hacia Madrid-Nodo1 no hay rutas de transmisión disponibles, por lo que sería necesario establecer un nuevo vano de capa entre ambos nodos, y utilizar fibra directa no se plantea por aprovechamiento de recursos de red. Para llegar a Madrid-Nodo2 se podría utilizar el vano de capa que se va a instalar para la solución de Madrid I, por lo que esta se plantea como la mejor alternativa para ahorrar la instalación de nuevos equipos de transmisión reduciendo así los costes.

Para transportar el enlace GBE entre Madrid-Nodo3 y Madrid-Nodo2 a través del nuevo vano hay dos posibilidades, instalar una nueva pareja de tarjetas 4xany o utilizar las tarjetas a instalar para Madrid I equipándolas únicamente con los interfaces GBE. Teniendo en cuenta que se trata de una segunda vía y en la primera vía no hay puntos comunes con Madrid I se decide utilizar la segunda opción para reducir el coste global. En el extremo de entrada de la

fibra del cliente el interfaz a utilizar será de media distancia SFP LX y en el extremo del nodo será de corta distancia SFP SX.

En Madrid-Nodo2 ya se han conectado las sedes de Madrid I (primera vía) y Madrid II (segunda vía) por lo que al introducir Madrid IV (segunda vía) los enlaces entre el ESS y el SR tendrían una ocupación de 400 Mbps para este cliente en el caso peor (que sería la caída de las primeras vías de Madrid II y Madrid IV). Dado que el nivel de ocupación de los enlaces es bajo y que la probabilidad de caída simultánea de las primeras vías de Madrid II y Madrid IV es reducida se conectará el enlace del cliente directamente al ESS de Madrid-Nodo2, en el que se habilitará un puerto con un interfaz óptico SFP SX.

El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 26:** Esquema de red Madrid IV.

#### 4.2.9 Madrid V.

La sede se encuentra en una ubicación próxima a Madrid IV e igualmente tiene cobertura por fibra óptica y el nodo más próximo es Madrid-Nodo3 con lo que la solución a plantear será muy similar para ambas sedes. Por la cobertura de fibra y la existencia de una acometida con fibra del operador hasta la misma sede se propone como solución proporcionar el acceso mediante fibra óptica directa hasta la sede del cliente.

En la primera vía se aprovechará la acometida de fibra existente en la sede activando un nuevo enlace de fibra hasta el nodo de acceso Madrid-Nodo3, que da cobertura en fibra a la sede. En el trayecto hay tramos en los que todas las fibras están ocupadas por lo que será necesario hacer un nuevo tendido de fibra (800 metros) por la canalización existente. Esta vía sigue el mismo camino que la primera vía de Madrid IV en parte del recorrido.

En Madrid-Nodo3 hay un 7450-ESS de acceso a la red MPLS. En este equipo ya se encontrarían conectados el enlace principal de Madrid IV, el enlace principal de Madrid II y el de *backup* de Madrid I con lo que en el caso peor se estarían ocupando 400 MB del enlace entre el 7450-ESS y el 7750-SR. Añadir la primera vía de Madrid V supondría ocupar 600 MB del enlace en el caso peor y 500 en el mejor de los casos, consumiendo la mitad del enlace sólo para este cliente. Para tratar de reducir el nivel de ocupación del enlace y proporcionar cierta redundancia con respecto a Madrid IV (evitando que un corte de fibra deje sin servicio en enlace principal de dos sedes) se propone utilizar esta primera vía para el enlace de *backup* de Madrid V.

Con ello para el enlace de *backup* se conectaría por fibra óptica directa la sede del cliente con el equipo de acceso a la red MPLS en Madrid-Nodo3, en el que se habilitaría un puerto equipado con un interfaz óptico SFP LX.

En la segunda vía, que se utilizará para el enlace principal, esta sede no tiene doble acometida por lo que será necesario realizar obra civil (80 metros de canalización) para crear este segundo punto de entrada al edificio. Para garantizar la redundancia con la primera vía se utilizarán caminos de fibra distintos en el trayecto hacia Madrid-Nodo3 siendo necesario realizar nuevos tendidos de fibra (300m) en algunos tramos. Una vez construido el camino completo se activará un nuevo enlace de fibra desde la sede hasta Madrid-Nodo3.

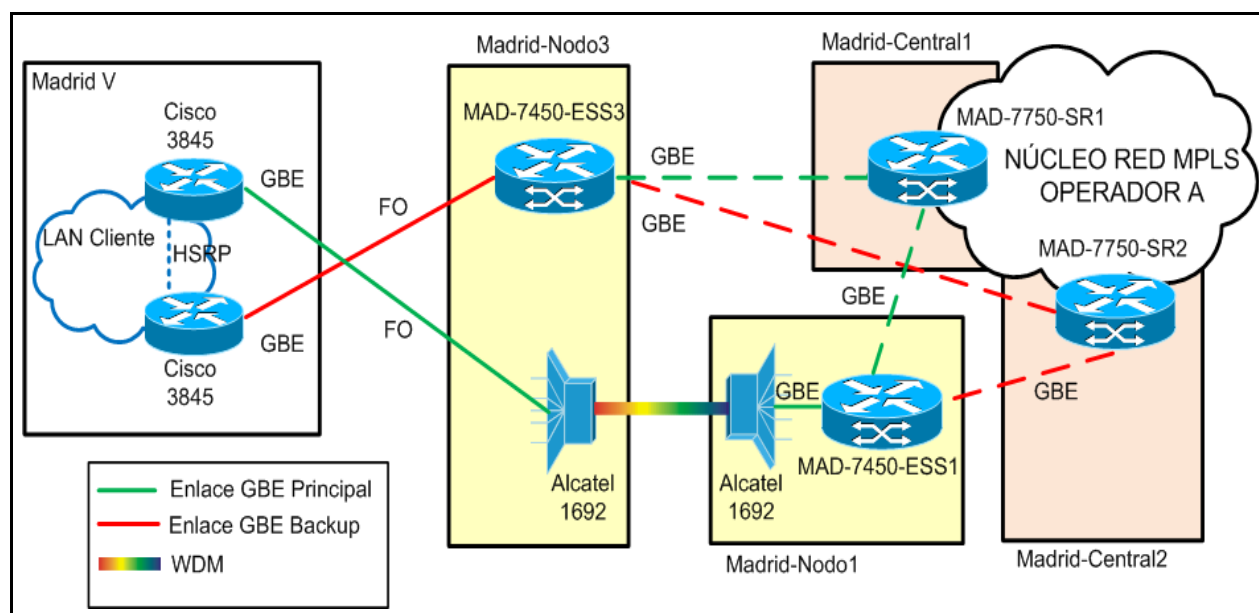
Desde Madrid-Nodo3 existen dos posibles soluciones. La primera de ellas sería ir hasta Madrid-Nodo2 utilizando el vano de capa a instalar para la solución de Madrid I, montando una nueva pareja de tarjetas o ampliando las existentes con módulos GBE. El principal inconveniente de esta solución sería concentrar en un mismo equipo y nodo los enlaces de cuatro de las sedes del cliente, con una ocupación de los enlaces entre el ESS y el SR de 300MB en el caso mejor y 600MB en el caso peor.

La segunda opción sería ir hasta Madrid-Nodo1 y conectar esta vía al equipo de acceso a la red MPLS que hay en esta sede. El principal inconveniente de esta solución es que no hay rutas de transmisión disponibles por lo que para evitar desaprovechar las fibras entre nodos habría que montar un nuevo vano de capa para la transmisión por WDM. El segundo

inconveniente sería concentrar dos sedes en el mismo equipo de acceso (Madrid III y Madrid V), que consumirían 400 MB del enlace entre el ESS y los SR.

En este caso para evitar la concentración de las cuatro sedes (Madrid I, Madrid II, Madrid IV y Madrid V) en dos de los nodos, consumiendo una parte importante de la capacidad de los enlaces hacia la capa de agregación, y disponer de rutas alternativas para posibles crecimientos futuros se implementará la segunda opción. Para ello habrá que construir un nuevo vano de capa entre Madrid-Nodo3 y Madrid-Nodo1, utilizando equipos Alcatel 1692 en ambos extremos dotados de tarjetas 4xany e interfaces GBE. En el extremo del cliente el interfaz óptico será de media distancia SFP LX y en el de Madrid-Nodo 1 de corta distancia SFP SX. El 7450-ESS se equipará con un interfaz óptico SFP SX.

El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 27:** Esquema de red Madrid V.

#### 4.2.10 Barcelona I.

La sede se encuentra ubicada cerca del nodo Barcelona-Nodo1, que dispone de equipamiento de acceso a la red MPLS, y tiene cobertura con fibra óptica por lo que la solución que se plantea es la utilización de fibra directa desde el cliente hasta el nodo de acceso.

La fibra del operador no llega hasta la propia sede, no existen acometidas previas, por lo que será necesario realizar obras para construir las acometidas al edificio y canalizar la fibra hasta el punto más próximo donde llegue la red de fibra del operador.

En la primera vía será necesario crear una canalización (30 metros) y realizar un tendido de fibra (150 metros) para establecer y activar un enlace de fibra directo entre la sede del cliente y el nodo Barcelona-Nodo1.

Dentro de este nodo hay un 7450-ESS de acceso a la red MPLS, que a su vez está conectado por sendos enlaces GBE con los dos 7750-SR de la capa de agregación de Barcelona para dotarlo de redundancia hacia esta capa.

El caudal solicitado para esta sede es relativamente pequeño (50 MB) y el nivel de ocupación de los enlaces entre los niveles de acceso es bajo con lo que el cliente se conectará por fibra óptica directa al ESS de acceso a la VPN-MPLS, en el que será necesario equipar un puerto con un interfaz óptico SFP LX.

En la segunda vía también será necesario hacer obras para construir la acometida y canalizar la fibra hasta el punto más cercano con fibra del operador. En este caso será necesario construir 60 metros de canalización y 1100 metros de tendido para crear un enlace entre la sede del cliente y el nodo Barcelona-Nodo1 por un camino distinto al de la primera vía.

Para garantizar la redundancia en acceso, esta segunda vía no se conectará al 7450-ESS de Barcelona-Nodo1, sino que se llevará hasta otro nodo que disponga de equipamiento de acceso. En este caso el nodo más próximo a Barcelona-Nodo1 es Barcelona-Nodo2.

Desde Barcelona-Nodo1 a Barcelona-Nodo2 hay fibra óptica directa pero no hay rutas de transmisión disponibles por lo que se creará una nueva ruta montando un vano de capa CWDM, ya que ambos nodos están próximos y dentro del área metropolitana.

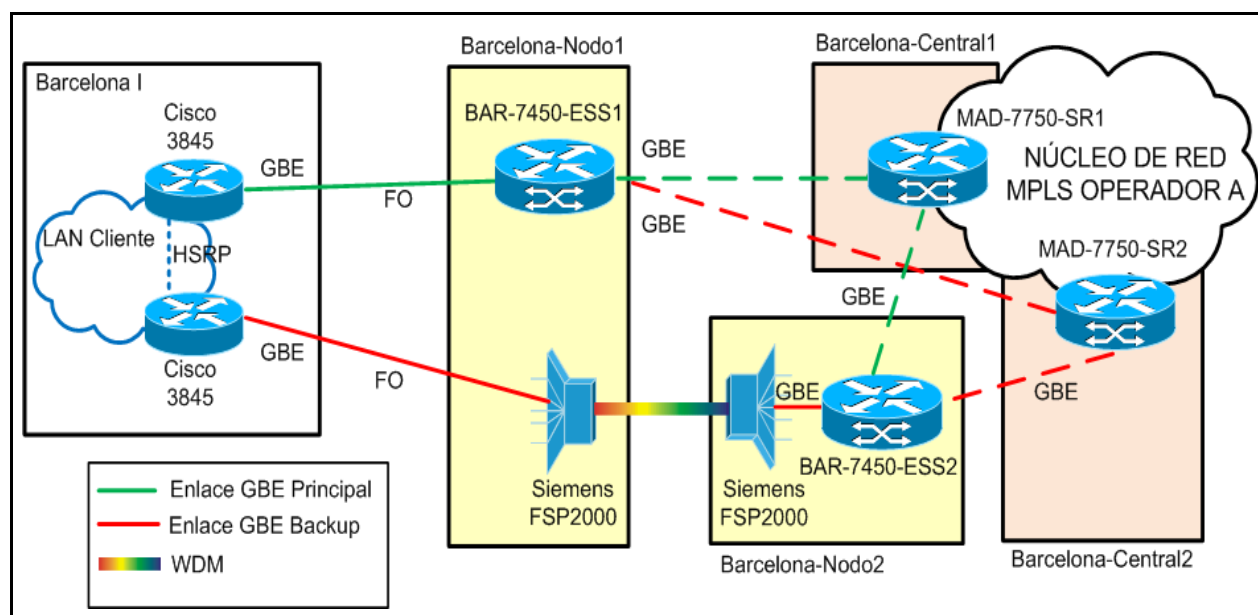
En el caso de Barcelona la red de transmisión está constituida exclusivamente por equipamiento de Siemens. Por las razones comentadas anteriormente lo más adecuado es utilizar el mismo equipamiento desplegado en la zona.

Aunque se podría utilizar equipamiento del Alcatel, al igual que en Madrid, esto supondría tener que dotar a la zona de repuestos, y adaptar la red de gestión para poder conectar los equipos al sistema de gestión. Con ello, el ahorro de coste de los equipos de Alcatel se perdería con el coste extra que supone la compra de repuestos y la adaptación de la red de gestión.

Por tanto entre Barcelona-Nodo1 a Barcelona-Nodo2 se establecerá un nuevo vano de capa con equipos Siemens FSP2000 en ambos extremos, operando en CWDM, equipados con tarjetas 2TCM y los interfaces ópticos correspondientes (SFP LX hacia el lado del cliente y SFP SX hacia el ESS). En el ESS de Barcelona-Nodo2 se equipará un puerto con un interfaz óptico SFP SX.



El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 28:** Esquema de red Barcelona I.

#### 4.2.11 Barcelona II.

Esta sede tiene cobertura de fibra óptica desde el nodo Barcelona-Nodo1, dotado de equipo de acceso a la red MPLS. Además está situada cerca de Barcelona I, por lo que la solución será muy similar para ambas sedes, utilizando enlaces de fibra óptica directa para el acceso a la sede.

La sede no tiene acometida de fibra óptica por lo que habrá que hacer obra civil para construir la acometida y canalización de fibra (60m), y realizar el tendido necesario (200m) para llegar hasta un punto donde enlazar con la fibra desplegada por el operador. Una vez hecho el despliegue se activará un enlace de fibra directa desde la sede del cliente hasta Barcelona-Nodo1.

En el 7450-ESS de Barcelona-Nodo1 se ha conectado el enlace principal de Barcelona I. Como los trayectos de fibra para los enlaces de Barcelona I y Barcelona II tienen tramos coincidentes y se utilizaría el mismo equipo de acceso a la red MPLS para ambas sedes se propone que esta primera vía se utilice para el enlace de *backup* de Barcelona II.

Con ello se conectaría el enlace de *backup* de la sede Barcelona II con el 7450-ESS de Barcelona-Nodo1 mediante fibra directa, equipando un puerto del ESS con un interfaz óptico SFP LX. Desde el punto de vista de capacidad el nivel de ocupación del enlace del ESS con los

SR de la capa de agregación es muy bajo y en el caso peor ambas sedes consumirían 100 MB del enlace, por lo que no hay problema en conectar el enlace del cliente al ESS.

Para la segunda vía también será necesario construir una acometida a la sede, por un punto de entrada distinto al de la primera vía, haciendo la canalización (60 metros) y tendido (1200 metros) necesarios para establecer un enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo 1 por un camino distinto al de la primera vía. Esta segunda vía se utilizará para el enlace principal de la sede Barcelona II.

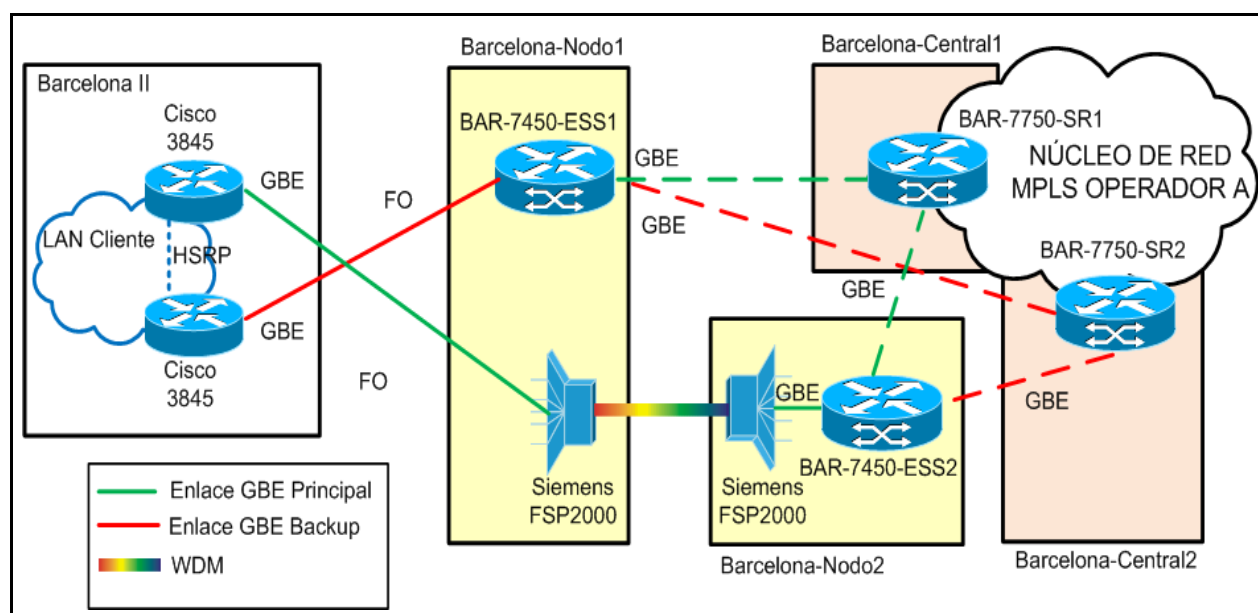
Para evitar conectar ambos enlaces al mismo equipo de entrada a la red MPLS en enlace GBE de esta vía se llevará hasta otro nodo con equipos de acceso disponible. Como se ha visto para Barcelona I el nodo más cercano es Barcelona-Nodo2.

En este caso para llegar desde Barcelona-Nodo1 a Barcelona-Nodo2 se puede utilizar el nuevo vano de capa a instalar para la solución de Barcelona I. Dado que para una sede se transporta en enlace principal y para la otra el de *backup* en caso de una incidencia en transmisión ambas sedes no se verían impactadas simultáneamente.

Cada tarjeta 2TCM puede soportar hasta dos servicios, y dado que el ancho de banda por canal es de 2.5Gbps podrían darse dos enlaces GBE por tarjeta. De esta forma con la pareja de tarjetas que se ha considerado en la solución de Barcelona I se podrían transportar los dos enlaces GBE, el de Barcelona I y el de Barcelona II. Únicamente será necesario equipar las tarjetas con los módulos ópticos correspondientes, SFP LX hacia el lado del cliente y SFP SX hacia el ESS.

De esta forma el enlace principal de Barcelona II se conectaría al ESS de Barcelona-Nodo2, habilitando un puerto de este equipo con un interfaz óptico SFP SX. La ocupación de los enlaces del ESS hacia los SR es baja con lo que, aunque Barcelona I y Barcelona II estarían conectadas a este equipo, no hay problemas de capacidad para conectar al cliente al ESS.

El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 29:** Esquema de red Barcelona II.

#### 4.2.12 Barcelona III.

Esta sede está ubicada cerca del nodo de acceso Barcelona-Nodo3, donde hay equipos de acceso a la red MPLS, y tiene cobertura con fibra óptica por lo que se propone utilizar fibra óptica directa desde el cliente hasta el nodo de acceso.

La fibra óptica no llega hasta la propia sede por lo que para la primera vía será necesario realizar un nuevo tendido de fibra (300 metros) y obra civil para la canalización (50 metros) y acometida al edificio, conectando la sede con el punto más próximo al que llega la red desplegada por el operador. Con la fibra desplegada hasta la propia sede del cliente se activará un enlace directo de fibra hasta el nodo Barcelona-Nodo3.

En Barcelona-Nodo 3 está disponible un 7450 ESS con enlaces GBE hacia los dos SR de la capa de agregación de Barcelona. En este caso por el caudal solicitado para esta sede (50 MB) y la baja ocupación de estos enlaces se conectará al cliente directamente al ESS mediante fibra óptica, habilitando un puerto del equipo con un interfaz óptico SFP LX.

Para la segunda vía tampoco existe acometida en la sede del cliente, siendo necesario realizar la construcción de la acometida, canalización (50 metros) y tendido (900 metros) de



#### 4.2.13 Barcelona IV.

La sede dispone de cobertura de fibra óptica y está próxima al nodo Barcelona-Nodo2, con equipo de acceso a la red MPLS, por lo que se plantea como solución el acceso con fibra directa desde el nodo hasta la sede del cliente al que se le proporcionarán enlaces GBE.

Aunque hay cobertura de fibra óptica en la zona esta no llega hasta la propia sede del cliente, por lo que será necesario hacer una prolongación de la fibra hasta la sede del cliente.

Para la primera vía se ejecutará obra civil para construir la acometida a la sede del cliente con la canalización (15 metros) y tendido (150 metros) de fibra. Posteriormente se realizará la activación de un nuevo enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo2.

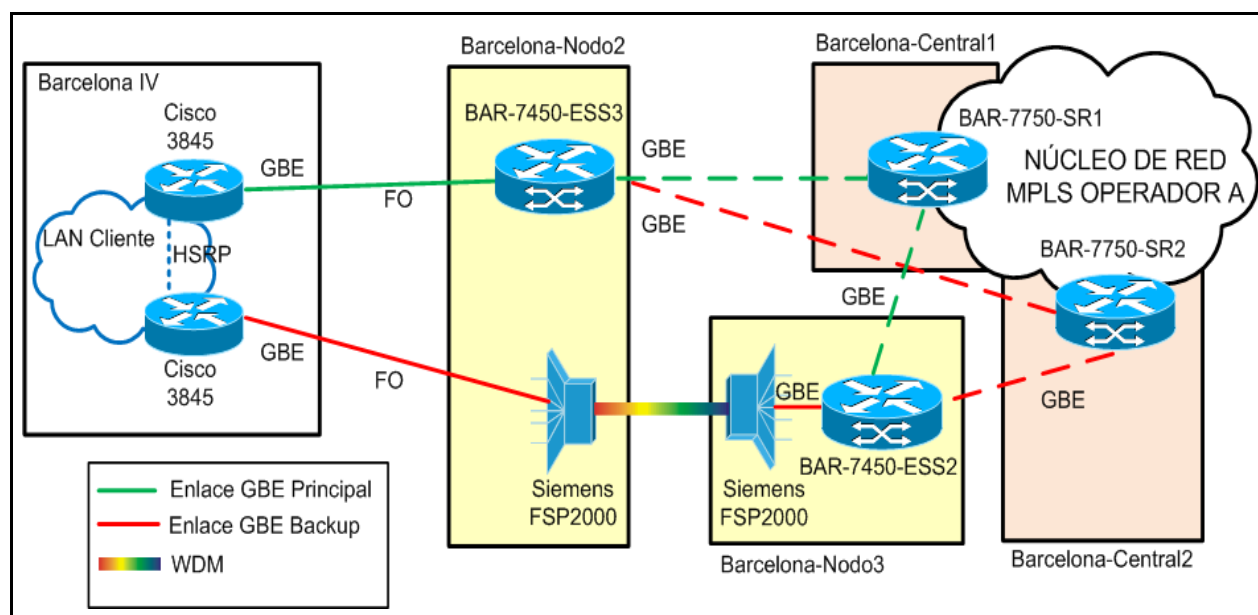
En el 7450-ESS de Barcelona-Nodo2 ya hay varios enlaces del cliente conectados, pero dadas las capacidades y el nivel de ocupación de los enlaces se podrá conectar el enlace principal de Barcelona IV directamente al ESS, equipando un puerto con un interfaz óptico SFP LX. En el caso peor en el que todas las sedes conectadas a este equipo estén utilizando los enlaces (los de Barcelona III y Barcelona I son las líneas de *backup*) el ancho de banda requerido sería de 200 Mbps que no supone un problema de saturación.

En la segunda vía también será necesario construir la acometida, con canalización (240 metros) y tendido (500 metros) de fibra, activando un nuevo enlace desde la sede del cliente hasta Barcelona-Nodo2.

Desde Barcelona-Nodo2 se llevará el enlace por transmisión hasta otro nodo dotado de equipos de acceso a la red MPLS. En este caso se puede utilizar el vano de capa existente entre Barcelona-Nodo2 y Barcelona-Nodo3, aprovechando las mismas tarjetas a instalar para la solución de Barcelona III que sólo habría que equipar con los módulos GBE, con interfaz SFP LX hacia el lado del cliente y SFP SX hacia el ESS. Puesto que para una sede se transporta en enlace principal y para la otra el de *backup* en caso de una incidencia en transmisión ambas sedes no se verían impactadas simultáneamente.

En Barcelona-Nodo3 ya hay un enlace del cliente conectado al ESS de acceso a la red MPLS, pero dados los caudales requeridos para estas sedes y la ocupación de los enlaces del ESS no hay problema de capacidad para poder conectar esta sede. En el ESS habrá que habilitar un puerto montando un interfaz óptico SFP LX.

El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 31:** Esquema de red Barcelona IV.

#### 4.2.14 Sevilla I.

La sede de Sevilla es una de las sedes que forman parte de la red de enlaces Fast Ethernet, interconectada con Madrid III como punto de enlace con el resto de las sedes. Este era uno de los problemas que planteaba la solución original ya que una incidencia en Madrid III podía dejar a la sede de Sevilla incomunicada con el resto de las sedes.

En la solución que tenía el cliente anteriormente estos enlaces se utilizaban para el tráfico de datos, que aun siendo muy importante no tiene la criticidad del servicio de voz, en el que se basa la actividad comercial de la empresa.

Con una nueva solución en la que el tráfico de voz y el de datos se transmiten por la misma red, y en la que se pretende que se concentre el tráfico de voz es necesario contemplar una alternativa que ofrezca a cada sede conectividad redundante e independiente respecto al resto de las sedes.

Esta sede está ubicada en una zona en la que no se dispone de cobertura de fibra, alejada de los nodos de acceso del operador, lo que dificulta pensar en una solución similar a la de otras sedes con enlaces directos de fibra.

Para el enlace *Fast Ethernet* actualmente en funcionamiento se está utilizando fibra alquilada a otro operador, que enlaza con la red de fibra del proveedor de servicios, sobre la que está montado un enlace de transmisión SDH con un equipo ADM (Alcatel 1650) instalado en la propia sede del cliente.

El enlace SDH establecido es un STM4 (622 Mbps), del que se utiliza un STM1 (155 Mbps) para el transporte del circuito FE sobre SDH. El circuito FE se extrae mediante el ADM instalado en la sede del cliente, equipado con una tarjeta *Ethernet* que entrega FE por interfaz eléctrico al *router* del cliente.

Debido a las dificultades para dotar de cobertura a esta sede utilizando red propia para el nuevo enlace se desestima la opción de desplegar un enlace de fibra directa. Esta opción supondría tener que alquilar nuevas fibras a otro operador, lo que resulta muy costoso, o realizar obra civil para llevar la red de fibra del operador hasta la sede del cliente, que puesto que no hay presencia en puntos cercanos a la ubicación del cliente también tendría un alto coste.

La segunda opción que se plantea es la de sustituir el enlace de transmisión SDH por un enlace WDM sobre el que transportar el enlace GBE. Esta solución resultaría también cara pero el coste es más contenido.

El mayor inconveniente es que el cliente quiere mantener el enlace *Fast Ethernet* funcionando durante un tiempo de forma simultánea al nuevo enlace. Como se utilizarían las fibras ya existentes habría que provocar un corte de servicio prolongado para sustituir los equipos y montar el nuevo enlace WDM y, por otro lado, para entregar el FE de forma transparente al cliente habría que montar tarjetería en los equipos WDM para el transporte del STM4. Esta tarjetería se utilizaría sólo durante un tiempo que supone una inversión innecesaria.

Para tratar de reducir el coste global del proyecto y evitar cortes de servicio prolongados, simplificando a su vez la solución, lo que se plantea es utilizar el enlace SDH existente para montar un nuevo enlace *Fast Ethernet* para el acceso a la red MPLS por la primera vía.

Esta solución es económica y sencilla de implementar, y cubriría los requerimientos de caudal del cliente, con la limitación de que no habría posibilidades de expansión futura con la infraestructura disponible. Para disponer de algo de margen en el caudal para pequeñas ampliaciones una alternativa es la de montar un enlace GBE sobre SDH, con ello el interfaz de entrega hacia el cliente sería GBE pero el caudal estaría limitado a la capacidad de un STM1 (155 Mbps).

Frente a esta limitación se decidió consultarlo con el cliente que indicó que no había pronóstico de crecimiento para esta sede en un futuro cercano, por lo que se optó por esta alternativa. En caso de requerimientos de crecimiento de caudal en un futuro se realizaría el cambio a WDM.

Por tanto para la primera vía se implementará un enlace *Gigabit Ethernet* desde la sede del cliente hasta el equipo de acceso a la red VPN-MPLS. El enlace SDH existente va desde la sede del cliente hasta el nodo Sevilla-Nodo1, donde hay disponible un 7450-ESS de acceso a la red MPLS.

En el enlace SDH entre el cliente y Sevilla-Nodo1 hay 3xSTM1 disponibles, utilizando uno de ellos para el transporte del circuito GBE sobre SDH. En los ADM de ambos extremos se instalarán tarjetas *Gigabit Ethernet* para extraer el circuito.

En el área de Sevilla sólo hay un 7750-SR, por lo que la redundancia entre el nivel de acceso y la capa de agregación se implementa mediante un doble enlace GBE entre ambos equipos.

En el ESS hay capacidad disponible en los enlaces hacia el SR para alojar el caudal solicitado por el cliente, por lo que el enlace procedente del cliente se conectará a este equipo, en el que se habilitará un puerto instalando un interfaz óptico SFP SX.

En la segunda vía surge de nuevo el problema de la ausencia de cobertura en la zona del operador, con cualquier tipo de tecnología.

Para proporcionar un enlace redundado al principal habría que alquilar nuevas fibras a un tercero, por caminos diferentes a los de la primera vía, lo que supondría un coste todavía más elevado que para el caso de la primera vía.

Una posible solución es alquilar directamente el circuito con la capacidad necesaria a un segundo operador. El inconveniente de esta solución es nuevamente el coste, especialmente si se trata de un circuito GBE o FE.

Ante las previsiones de no crecer en un futuro próximo en esta sede, para no elevar de forma considerable el coste del proyecto y considerando que se trata del enlace de *backup* la solución adoptada es la de ofrecer menor caudal del solicitado, contratando un circuito de 34 Mbps a otro operador.

El hecho de utilizar 34Mbps se debe a la posibilidad de transportar el enlace completo sobre un E3 en SDH para la transmisión entre nodos, siendo sencillo encontrar rutas disponibles en la red de transmisión para esta capacidad sin necesidad de ampliaciones y, por otro lado, simplificando las tareas de supervisión del enlace. Con esto se puede conseguir una buena relación entre la capacidad ofertada al cliente y el coste de implementación de la solución.



Este operador realizará las actuaciones necesarias para llevar el enlace hasta la sede del cliente, donde instalará el equipo necesario para la entrega del circuito. En el otro extremo la entrega del servicio entre ambos operadores se hará a través de un PDI (punto de interconexión) óptico donde se interconectan las fibras procedentes de cada operador sobre las que se establece un enlace de transmisión SDH. En este enlace cada operador instalará un ADM en su extremo para la extracción o transporte del circuito por su red.

Este punto de interconexión no tiene que estar necesariamente ubicado en un nodo próximo a la sede, normalmente existen puntos de interconexión ya establecidos mediante acuerdos previos donde se entregan múltiples servicios, y cada operador utiliza su red de transmisión para el transporte de los circuitos hasta el PDI.

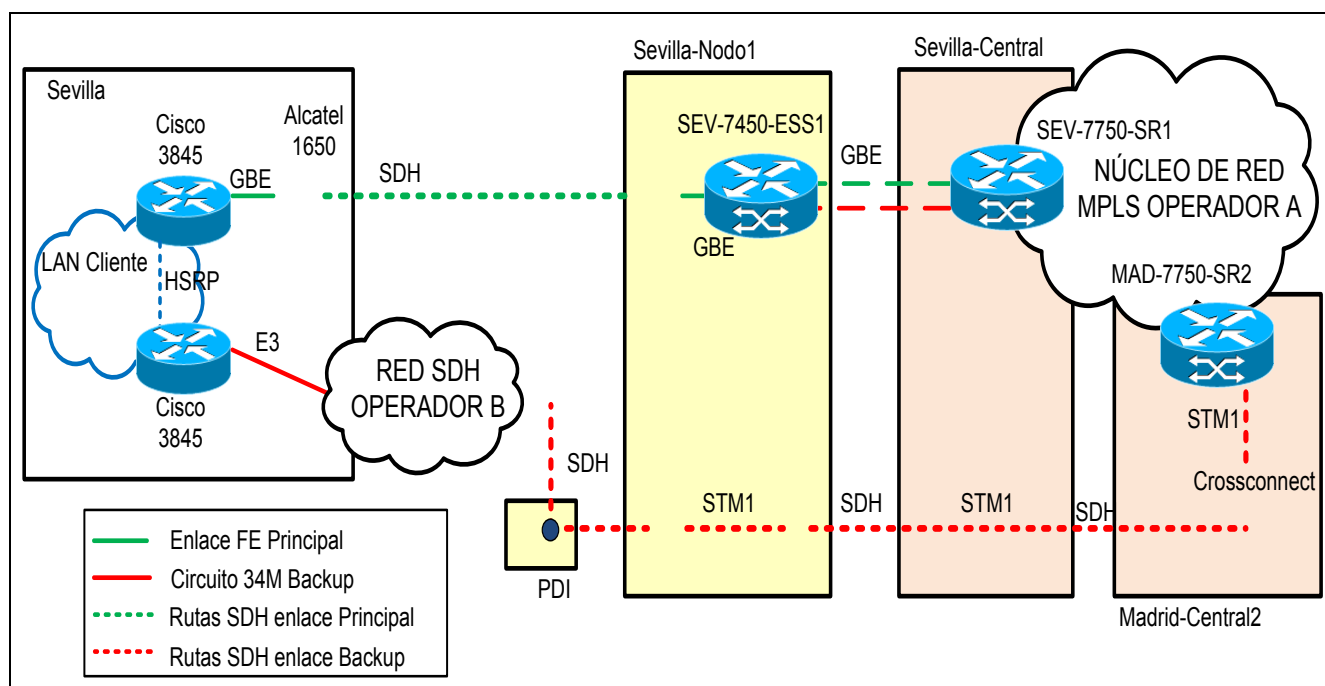
En este caso existe un PDI con capacidad disponible, donde el operador entregará el servicio a través de un enlace de transmisión SDH montado sobre un equipo ubicado en Sevilla-Nodo1.

Puesto que en Sevilla sólo existe un 7750 SR en la capa de agregación para proporcionar mayor redundancia el circuito se llevará por transmisión hasta otra demarcación, donde entrará a la red MPLS a través de un equipo distinto al de Sevilla.

La mejor opción es transportar el circuito hasta Madrid ya que existen múltiples rutas de transmisión establecidas con lo que es posible aprovechar la capacidad existente sin necesidad de realizar ampliaciones de red. En concreto desde Sevilla-Nodo1 se transportará el circuito hasta Madrid-Central2, pasando por Sevilla-Central, haciendo uso de las rutas existentes.

En Madrid-Central2 el 7750 SR está equipado con tarjetas POS, que permiten la entrega de circuitos SDH canalizados para el acceso directo a la red MPLS. Cada tarjeta POS tiene un enlace STM1 contra el *crossconnect* del nodo (equipo que conecta los ADM de entrada a cada una de las rutas de transmisión, y que permite extraer circuitos de una ruta, conmutarlos e insertarlos en otra) a través del que llegan los circuitos procedentes de la red SDH.

El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 32:** Esquema de red Sevilla I.

#### 4.2.15 Alicante I.

La sede dispone de cobertura de fibra con acometida en el propio edificio donde se encuentra ubicada, por lo que la opción que se plantea en un principio es el acceso con fibra y enlaces GBE.

La topología de red está basada en un único equipo de agregación ubicado en el nodo Alicante-Central, al que se conectan los 7450-ESS del nivel de acceso con un doble enlace GBE.

Para la primera vía se activará un enlace de fibra entre la sede del cliente y el nodo más próximo desde donde se le da cobertura, Alicante-Nodo1. Este nodo no dispone de equipamiento de acceso a la red MPLS, por lo que será necesario llevar en enlace hasta otro nodo donde haya un ESS de acceso. En este caso el nodo más próximo a Alicante-Nodo1 es Alicante-Nodo2.

Desde Alicante-Nodo1 hasta Alicante-Nodo2 existen dos alternativas. La primera de ellas es utilizar las fibras disponibles entre ambos nodos prolongando el enlace directo de fibra desde la sede del cliente hasta Alicante-Nodo2.

La segunda opción sería establecer un vano de capa WDM entre Alicante-Nodo1 y Alicante-Nodo2 y llevar el circuito GBE por transmisión.

En este caso ambos nodos son de reciente construcción, se encuentran próximos entre sí y hay mucha disponibilidad de fibras entre ambos por lo que de forma excepcional y para reducir el coste del proyecto la solución a implementar será la de utilizar fibra directa desde el cliente hasta Alicante-Nodo2, donde se conectará el 7450-ESS de acceso a la red MPLS en el que se habilitará un puerto con un interfaz óptico SFP LX.

En segunda vía la dificultad que se plantea es la existencia de un único SR en la capa de agregación, por lo que para garantizar la redundancia de equipamiento habría que conectar este enlace a un equipo que dependiera de un SR distinto.

Por proximidad geográfica y existencia de rutas de transmisión la primera alternativa sería el transporte del enlace hasta Valencia-Central, conectándolo al SR existente en este nodo.

El principal problema de esta solución es el coste. En primer lugar habría que realizar obra civil para construir una segunda acometida a la sede y activar un enlace de fibra desde el cliente a Alicante-Nodo1 por un camino diferente al de la primera vía.

Por otra parte las rutas de transmisión disponibles hacia Valencia salen desde Alicante-Nodo3, con lo que habría que ir desde Alicante-Nodo1 a Alicante-Nodo3 para lo que sería necesario montar un nuevo vano de capa o utilizar fibras entre nodos. Finalmente, desde Alicante-Nodo3 hasta Valencia-Central habría dos tramos de transmisión (Alicante-Nodo3 a Alicante-Central y Alicante-Central a Valencia-Central) siendo necesario ampliar los equipos en cada uno de los tramos para transportar el enlace. En conjunto supondría un coste muy elevado para un enlace de *backup* de una sede que el cliente considera como secundaria.

Dado que se trata del enlace de *backup* la opción que se propone es reducir el caudal solicitado inicialmente por el cliente, utilizando un circuito de 34 Mbps implementado sobre otra tecnología de acceso para evitar tener que realizar obra civil.

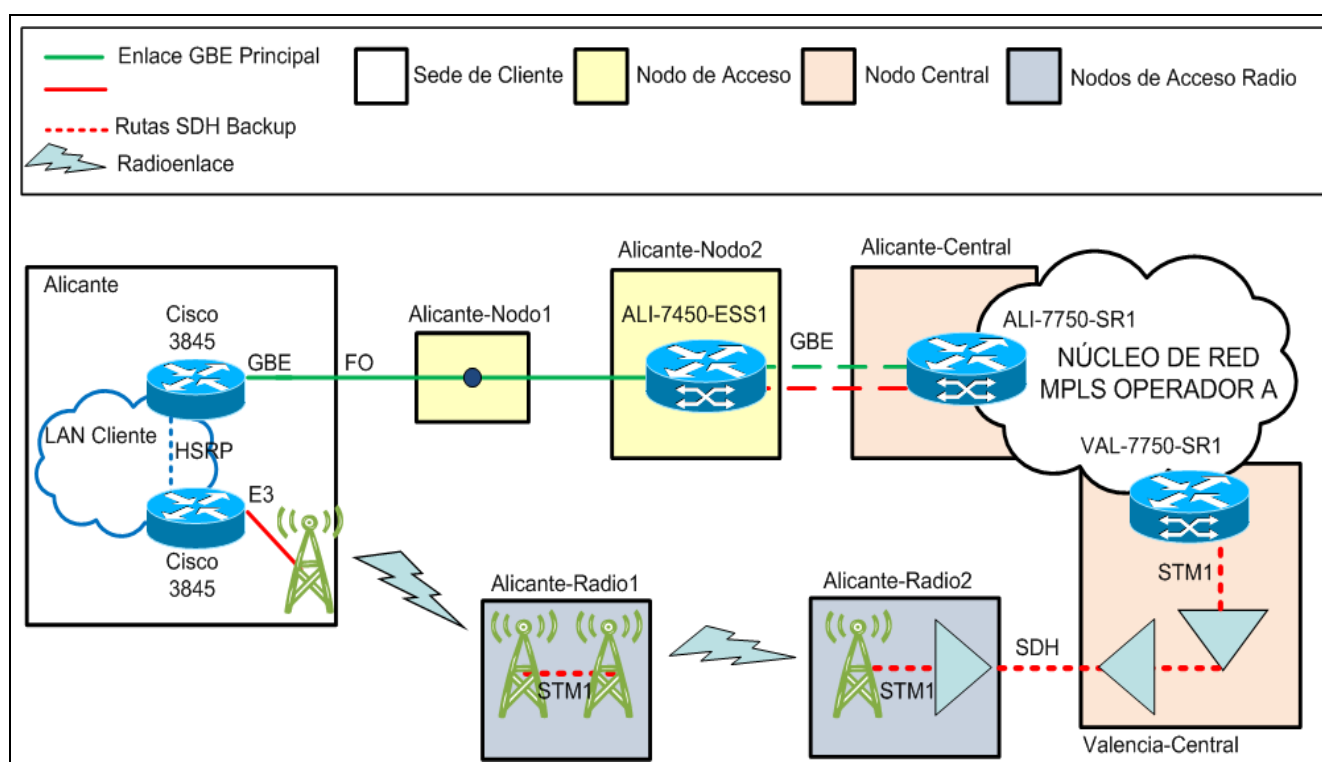
En este caso existe cobertura radio desde el nodo Alicante-Radio1, por lo que se establecerá un radioenlace desde la sede del cliente hasta este nodo, desde donde existe otro vano con el nodo Alicante-Radio2 con capacidad disponible.

Una vez decidida la utilización de la tecnología radio y comprobada la disponibilidad de emplazamientos de radio cercanos a la sede del cliente, el cálculo del radioenlace y la confirmación de la cobertura la realiza un grupo especializado en radio dentro del operador.

Desde Alicante-Radio2 sale una ruta de transmisión SDH directamente hasta Valencia-Central, con capacidad disponible para el transporte del circuito de 34 Mbps.

En Valencia-Central el 7750 SR está equipado con tarjetas POS para el acceso a la red MPLS mediante circuitos SDH. Las tarjetas están conectadas por enlaces STM1 contra el *crossconnect* del nodo donde se conmutará el circuito procedente de la ruta de transmisión entre Alicante y Valencia hacia el SR.

El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente<sup>7</sup>:



**Figura 33:** Esquema de red Alicante I.

<sup>7</sup> El criterio de colores para identificar los nodos de acceso radio será el mismo en todos los esquemas, por lo que no se representarán en la leyenda para el resto de esquemas.

#### 4.2.16 Tenerife I.

Esta sede no dispone de cobertura en fibra ni servicios instalados en la actualidad por lo que será necesario buscar otras tecnologías para los enlaces de acceso. Aparte del acceso esta sede plantea una serie de dificultades adicionales para proporcionar una solución acorde con los requerimientos del cliente.

En Tenerife hay un único equipo de acceso a la red MPLS, directamente en la capa de agregación, con un 7750 SR ubicado en el nodo Tenerife-Central, lo que complica la redundancia en cuanto a equipos de acceso a la red.

Las posibles soluciones pasarían por el transporte de uno de los enlaces hasta un equipo de acceso ubicado en la Península. Esta solución presenta el problema de que toda la capacidad entre las Islas y la Península es alquilada a otro operador, en capacidades múltiplos de STM1 con un precio muy elevado, por lo que ocupar parte de esa capacidad de transmisión con un enlace de *backup* supondría un coste difícil de asumir por el proyecto.

Otra opción sería la del transporte del circuito hasta otra de las Islas con equipos de acceso a la red, pero no hay capacidad disponible ni posibilidad de ampliaciones a corto plazo por lo que esta opción no es viable.

Por tanto, la única solución viable en coste y plazos es la de conectar los enlaces principal y de *backup* al equipo de Tenerife-Central. Este equipo está altamente redundado en cuanto a controladoras, tarjetas y fuentes de alimentación lo que reduce las probabilidades de un fallo crítico que inhabilite el servicio del cliente.

La única tecnología con cobertura disponible para la sede es mediante un acceso por radio, desde el nodo Tenerife-Radio1, por lo que para la primera vía se establecerá un radioenlace con capacidad de 34Mbps desde la sede del cliente hasta este emplazamiento.

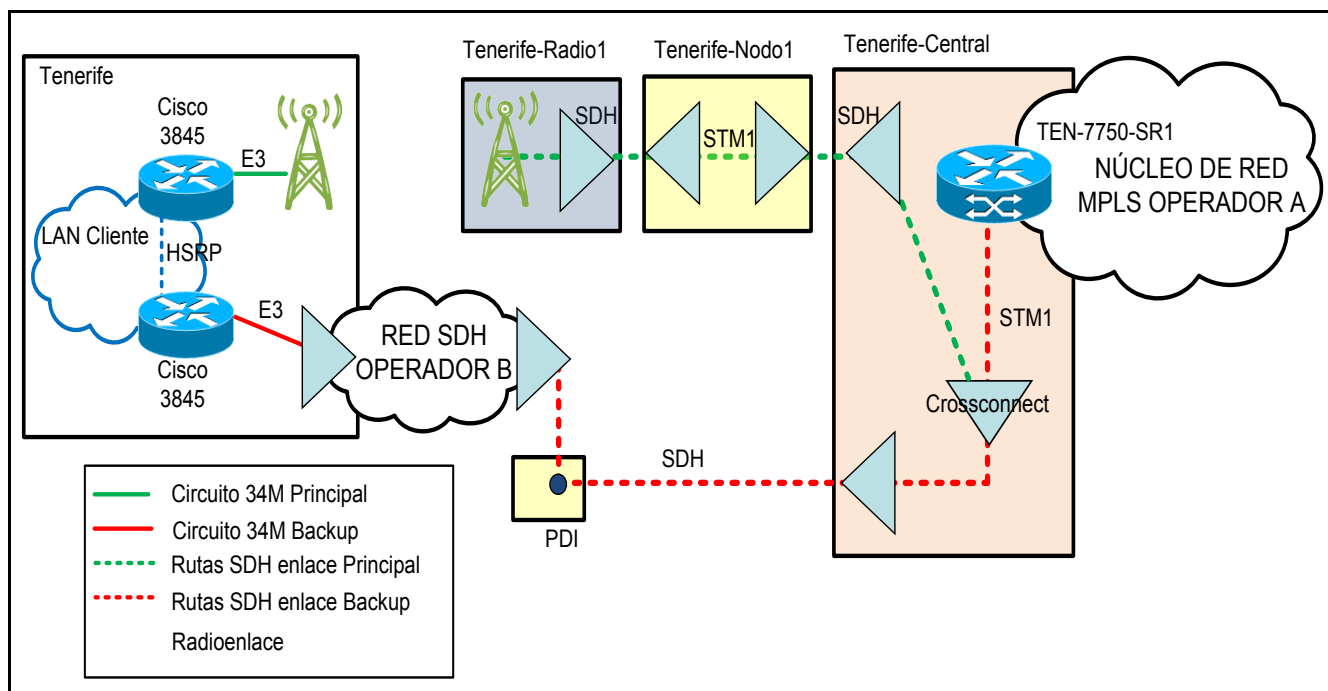
Desde Tenerife-Radio1 se llevará el circuito por rutas de transmisión SDH existentes hasta el *crossconnect* de Tenerife-Central, desde donde hay un enlace STM1 canalizado hasta la tarjeta POS del SR ubicado en el nodo. Para el transporte del circuito será necesaria la ampliación de uno de los ADM disponibles en Tenerife-Radio1 con una tarjeta 3x34 (tarjeta que permite insertar 3 circuitos E3 mediante interfaz G703).

En la segunda vía para garantizar la redundancia con respecto a la primera será necesario alquilar un circuito de 34 Mbps a otro operador con cobertura en la sede. La entrega

del circuito se realizará a través de un PDI óptico establecido contra un ADM instalado en Tenerife-Central.

Este ADM se conectará con el crossconnect desde donde se enrutará el circuito hasta la tarjeta POS del SR. Por razones de capacidad habrá que establecer una nueva ruta STM1 desde el ADM hasta el *crossconnect*, ampliando el ADM con una tarjeta STM1.

El esquema de la solución sería el siguiente:



**Figura 34:** Esquema de red Tenerife I.

#### 4.2.17 Las Palmas I.

Esta sede dispone de cobertura en fibra desde el nodo Palmas-Central, con lo que puede plantear como solución para los enlaces el acceso con fibra óptica directa hasta la sede del cliente. La sede ya disponía de servicios contratados con el operador por lo que tiene acometida de fibra hasta el propio edificio.

Al igual que para la sede de Tenerife la principal dificultad radica en proporcionar redundancia a nivel de equipamiento de acceso a la red MPLS, ya que en Las Palmas sólo hay un 7750 SR ubicado en Palmas-Central y no existe el primer nivel de acceso.

Las posibles soluciones serían las mismas que en el caso de Tenerife por lo que la única opción viable en coste y plazos es la de conectar los enlaces de ambas vías al SR, que es un equipo altamente redundado a nivel de controladoras, tarjetas y fuentes de alimentación.

En la primera vía se utilizará fibra óptica directa desde la sede del cliente hasta el nodo Palmas-Central, activando para ello un nuevo enlace de fibra.

Dado que el acceso solicitado es de 34 Mbps existen dos posibles opciones.

La primera de ellas sería la entrega del circuito de 34 Mbps, instalando un ADM en la sede del cliente con tarjeta de puertos 3x34 desde el que se establecería una ruta SDH con capacidad STM1 hasta un ADM ubicado en el nodo Palmas-Central. Desde este ADM se crearía una nueva ruta STM1 hacia la tarjeta POS del SR de acceso a la red MPLS para la entrega del circuito. A su vez en el CE del cliente habría que instalar una tarjeta NM-1T3/E3 para conectar el circuito de 34 Mbps por interfaz G703.

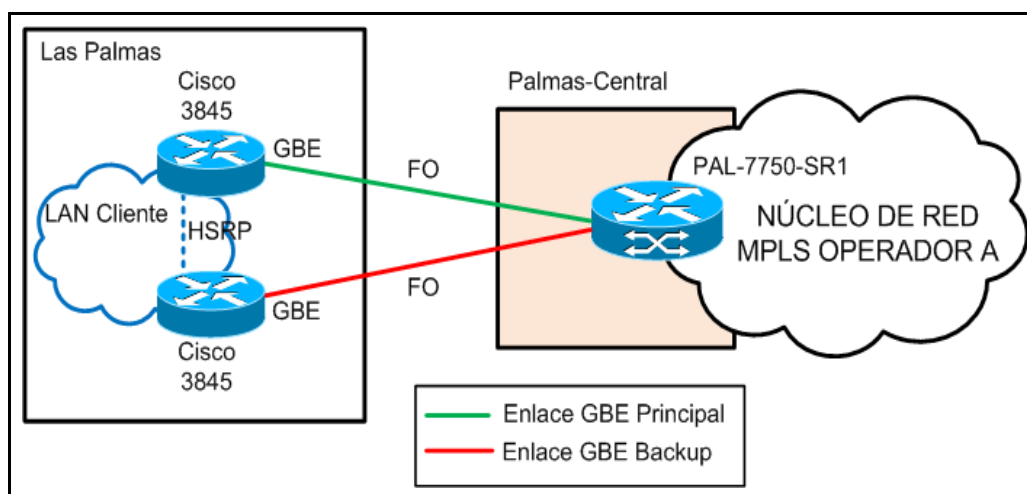
La segunda opción sería la de entregar un enlace GBE en lugar del circuito de 34Mbps, para lo cual sólo habría que activar el enlace y equipar un puerto del 7750 SR con un interfaz óptico SFP LX. En el CE del cliente no sería necesario instalar tarjetas adicionales y únicamente habría que instalar un interfaz óptico SFP LX.

En este caso la entrega del enlace GBE no sólo es más sencilla sino que también resulta más barata, y desde el punto de vista del cliente supondría una mejora con respecto a los servicios solicitados sin incremento del coste. Por ambas razones se optará por esta solución.

Para la segunda vía será necesario realizar obra civil para construir una segunda acometida al edificio por un punto distinto al de la primera vía, realizando un tendido adicional de fibra (390 metros) y construcción de canalización (20 m) para establecer un camino de fibra distinto al de la primera vía.

Como en el caso de la primera vía aunque el cliente solicita un acceso de 34 Mbps la solución más sencilla y económica es proporcionar un enlace GBE con fibra óptica directa desde la sede del cliente hasta Palmas-Central, habilitando un puerto en el SR de acceso a la red MPLS con un interfaz óptico SFP LX.

El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 35:** Esquema de red Las Palmas I.

#### 4.2.18 Badajoz I.

La sede no tiene cobertura en fibra óptica ni hay despliegue en la zona o en un nodo próximo que permita extenderla hasta el cliente por lo que habrá que utilizar otras tecnologías de acceso para los enlaces a la red MPLS.

En esta demarcación no hay equipos de acceso a la red MPLS por lo que habrá que llevar los enlaces por transmisión hasta otras demarcaciones con equipamiento de acceso disponible. En la medida de lo posible se utilizarán rutas de transmisión existentes siendo estas las que determinarán cuales serán los puntos de entrada a la red MPLS.

Ante esta situación no es viable ofrecer enlaces GBE en el acceso, ya que las alternativas serían desplegar fibra en la zona o alquilarla a terceros pero dado que no hay ningún despliegue inicial o nodos próximos en la zona el coste resultaría muy elevado.

Para la primera vía se propone montar un radioenlace de alta capacidad contra el emplazamiento radio Badajoz-Radio1. Este radio enlace permite la transmisión de un STM1 por lo que se puede entregar al cliente un enlace *Fast Ethernet*, que posteriormente se transportará sobre SDH hasta el nodo de acceso a la red MPLS, con el que se podrían dar los 100 Mbps solicitados por el cliente.

Otra opción utilizando este radioenlace sería entregar al cliente un circuito GBE transportado sobre SDH, haciendo uso del STM1 que permite el radioenlace. Con esta solución se entregaría al cliente un acceso GBE, limitado en capacidad por la transmisión (hasta un



máximo de 155Mbps que soporta el SMT1), con el que se pueden dar los 100Mbps solicitados y ofrecer cierto margen de crecimiento para ampliaciones futuras.

La diferencia de coste y de complejidad entre ambas soluciones es reducida, ya que el coste de transmisión será el mismo y en ambos casos es necesario instalar un ADM en la sede del cliente para el paso de FE/GBE a SDH. Es en este ADM donde está la principal diferencia ya que habrá que instalar una tarjeta FE o GBE, en función de la solución, para la extracción y entrega del enlace. Dado que la diferencia de coste entre ambas tarjetas es pequeña (unos 2000 euros) frente al coste global del proyecto se optará por entregar un enlace GBE proporcionando así capacidad excedente para un crecimiento futuro.

En la sede del cliente se instalará un ADM Alcatel 1650, con tarjeta GBE e interfaz óptico SFP SX para la entrega del enlace al CE del cliente, y tarjeta STM1 para la conexión al radioenlace.

Desde el emplazamiento Badajoz-Radio1 hay una ruta de transmisión SDH hasta el nodo Badajoz-Nodo1, desde donde sale una ruta interprovincial hasta Sevilla-Central. Ambas rutas tienen capacidad disponible sin necesidad de realizar ampliaciones por lo que el circuito se transportará hasta Sevilla-Central donde se podrá conectar al cliente al SR de acceso a la red MPLS disponible en este nodo.

En Sevilla-Central será necesario ampliar el ADM de salida con una tarjeta GBE para la conversión de SDH a Ethernet y la conexión del enlace al equipo de acceso a la red MPLS, en el que se habilitará un nuevo puerto equipado con un interfaz óptico SFP SX.

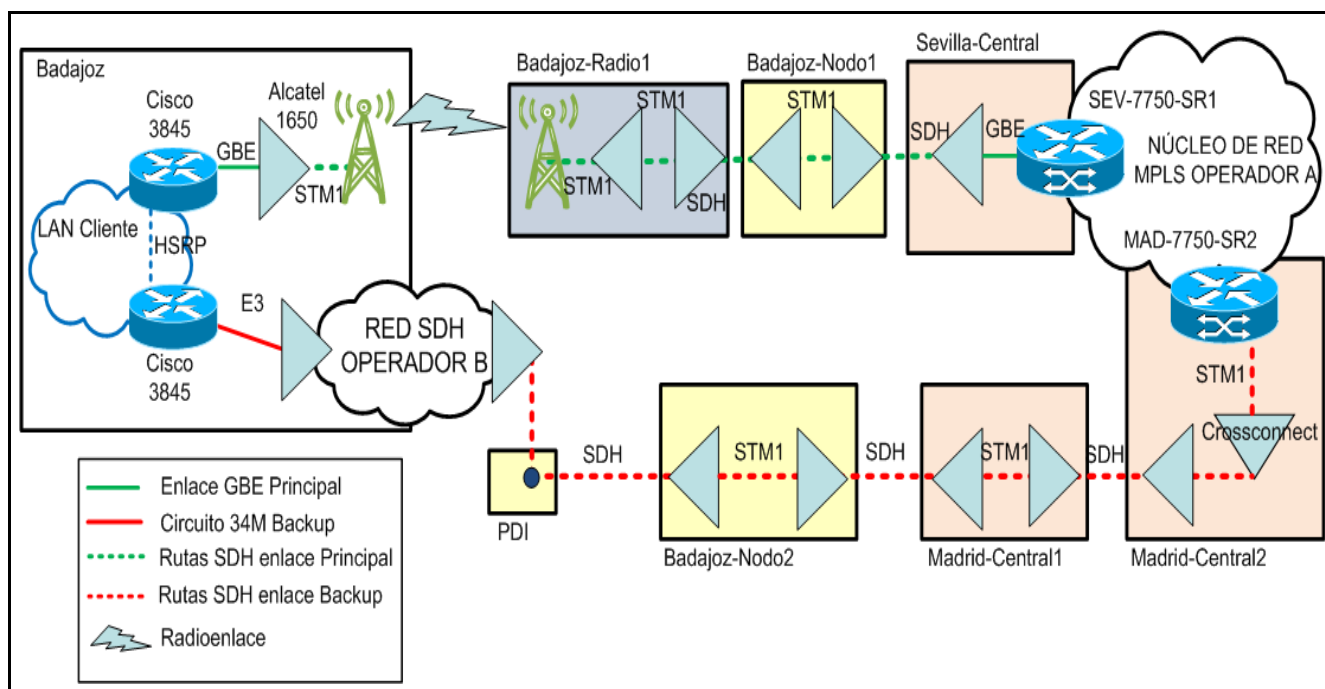
Para la segunda vía con objeto de proporcionar redundancia con respecto a la primera se alquilará un circuito a otro operador. Por razones de coste y puesto que se trata del enlace de *backup* se optará por reducir la capacidad ofrecida al cliente en este enlace a 34 Mbps, contratando al otro operador un circuito SDH con esta capacidad.

La entrega del circuito se realizará a través de un PDI óptico existente contra un ADM instalado en el nodo Badajoz-Nodo2. Desde este nodo hay rutas de transmisión hacia Madrid, que se pueden utilizar ya que en Madrid hay equipos de acceso a la red MPLS con lo que además de aprovechar la capacidad de transmisión existente se conseguiría redundancia en equipamiento de acceso con respecto a la primera vía.

En este caso hay una ruta de transmisión SDH con capacidad disponible desde Badajoz-Nodo2 hasta Madrid-Central1. En Badajoz-Nodo2 será necesario ampliar el ADM del PDI con una tarjeta STM1 para transportar el circuito de 34Mbps hasta el ADM de salida hacia la ruta con Madrid.

Desde Madrid-Central1 se transportará el circuito hasta Madrid-Central2 a través de otra ruta existente con capacidad disponible, para insertar el circuito de 34Mbps en la red MPLS a través de las tarjetas POS disponibles en el 7750 SR de Madrid-Central2. Estas tarjetas tienen enlaces STM1 establecidos con el crossconnect del nodo, que conmutará el circuito desde la ruta procedente de Madrid-Central1 hasta la tarjeta POS.

El esquema de la solución sería el siguiente:



**Figura 36:** Esquema de red Badajoz I.

#### 4.2.19 Asturias I.

La sede no tiene cobertura en fibra óptica ni hay despliegue en nodos próximos o en la zona por lo que a priori se descarta la solución de utilizar enlaces de fibra óptica directa hasta el cliente.

En la demarcación hay un único equipo 7750 SR para el acceso a la red MPLS ubicado en el nodo Oviedo-Central, que está ubicado en una localidad distinta a la de la sede.

Para la primera vía la sede sólo tiene cobertura para acceso radio desde el nodo Oviedo-Radio1, por lo que la solución para esta vía será montar un radioenlace de alta capacidad entre la sede del cliente y este nodo. Este radioenlace ofrece una capacidad de transmisión de un

STM1, por lo que al igual que para la sede de Badajoz se plantea la opción de entregar al cliente un enlace GBE o un enlace FE.

Por el mismo motivo que antes se optará por la entrega en GBE, ofreciendo así cierto margen de crecimiento hasta la capacidad máxima del radioenlace.

En la sede del cliente se instalará un ADM Alcatel 1650 equipado con tarjetas GBE para la conexión con el CE del cliente, y STM1 para la salida hacia el radioenlace.

Desde Oviedo-Radio1 hasta Oviedo-Central se utilizará una ruta de transmisión directa existente que tiene capacidad disponible, siendo necesario instalar una tarjeta GBE en el ADM del extremo de Oviedo-Central para la extracción del circuito GBE.

Este enlace se conectará directamente al SR, en el que se habilitará un puerto con un interfaz óptico SFP SX.

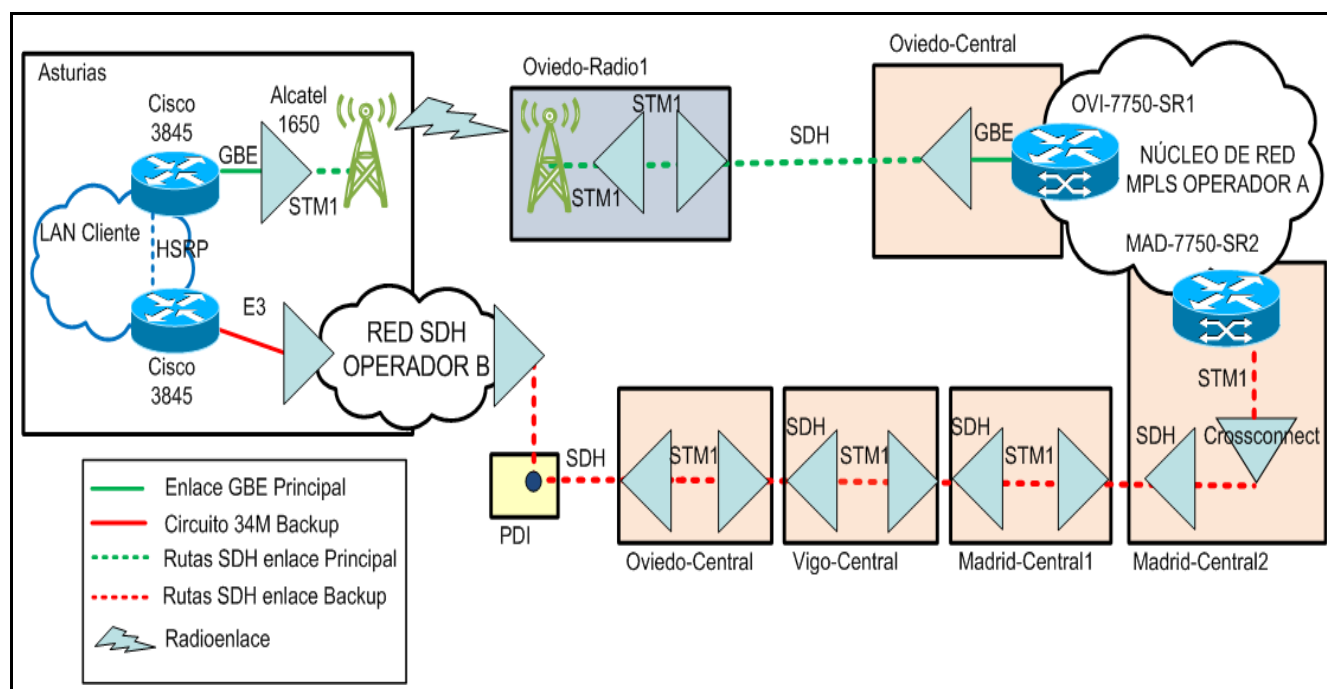
Para la segunda vía dada la falta de cobertura con otras tecnologías se optará por alquilar un circuito a otro operador. De nuevo por razones de coste se ofrecerá al cliente una solución basada en un acceso de 34 Mbps, que el operador entregará a través de un PDI óptico establecido contra Oviedo-Central.

En Oviedo-Central se podría conectar el circuito al SR del nodo, montando una tarjeta POS y la ruta correspondiente hasta el *crossconnect*, pero para dar redundancia en equipos de acceso hasta la red MPLS el circuito hay que transportarlo hasta otro punto.

En este caso hay rutas nacionales disponibles desde Oviedo-Central hasta Madrid-Central1, con capacidad para transportar el circuito sin tener que realizar ampliaciones. La ruta tendría dos tramos, el primero desde Oviedo-Central hasta Vigo-Central, y el segundo desde Vigo-Central hasta Madrid-Central1.

Desde Madrid-Central1 habría que llevar el circuito hasta Madrid-Central2, donde hay tarjetas POS para el acceso a la red MPLS mediante circuitos SDH canalizados. Para la transmisión entre ambos nodos también existen rutas de transmisión con capacidad disponible.

El esquema de la solución para esta sede sería el siguiente:



**Figura 37:** Esquema de red Asturias I.

#### 4.2.20 Equipamiento de cliente para el acceso a la VPN-MPLS.

Los CE de acceso a la VPN-MPLS serán instalados, configurados y mantenidos por el operador. El cliente no ha especificado unos requisitos concretos en cuanto al equipamiento, excepto la redundancia de equipos, por lo que se utilizarán *routers* Cisco ya que están homologados por el operador para la solución VPN-MPLS. Por otra parte existen contratos marco con varios proveedores que permiten obtener mejores precios reduciendo el coste de la solución.

La redundancia entre los enlaces se implementará configurando HSRP en los CE conectados a cada uno de los enlaces.

HSRP (*Hot Standby Router Protocol*) es un protocolo de enrutamiento propietario de Cisco que permite establecer rutas de acceso y equipos redundantes tratando de evitar puntos de fallo único en la red. Es un protocolo que actúa sobre el nivel 3 administrando la redundancia sobre el *Gateway* de la LAN, es decir, administra la redundancia entre interfaces que se encuentran dentro de una misma red o subred.

Su operativa consiste en definir un grupo de *routers* en el que uno de ellos actúa como maestro reenviando el tráfico y el resto funcionan como *routers de backup* en estado de espera. Los *routers de backup* monitorizan continuamente el router principal y en caso de fallo de éste uno de ellos toma el control pasando a actuar como *router* principal reenviando los paquetes.

Se define una dirección IP virtual para el conjunto de routers HSRP, que es la que se configura en el resto de equipos de la LAN como *Gateway* de la red. Esta IP es asumida por el *router* que esté funcionando como maestro, por lo que ante una caída del maestro uno de los *routers de backup* adoptará el papel de maestro y esta dirección virtual, a la que el resto de los equipos seguirá enviando el tráfico para salir de la LAN con lo que el cambio de *router* es transparente dentro de la red.

Para definir cuál es el *router* maestro se establece un valor de prioridad a cada *router*, siendo 100 el valor por defecto y el máximo, y el *router* de mayor prioridad es el que opera como maestro.

Los routers del grupo se intercambian mensajes HSRP *hello* para conocer el estado del resto de los miembros del grupo. Si los *routers de backup* no reciben mensajes del maestro durante un determinado tiempo (*holdtime*, equivalente al envío de tres mensajes *hello*) uno de ellos, el de mayor prioridad, tomará el papel de maestro reenviando los paquetes.

Para la solución a implementar el CE de la primera vía se configurará como maestro y el de la segunda vía como *backup*, y hablarán HSRP entre sí a través de la red LAN del cliente, donde se configurará la IP virtual del grupo HSRP como *Gateway* de salida hacia la VPN.

Los Data Centre de Madrid y Barcelona constituyen puntos neurálgicos para la entrega del tráfico de voz de todas las sedes hacia o desde el operador, por lo que se requieren *routers* robustos y con un alto grado de disponibilidad.

Por otra parte dados los caudales de tráfico solicitado es necesario utilizar *routers* de alto rendimiento, capaces de manejar elevados caudales de tráfico, equipados con controladoras de alta potencia de proceso y abundante memoria.

También es importante disponer de *routers* modulares y flexibles que permitan modificar los distintos elementos (interfaces, controladoras, memoria, tarjeta de puertos, etc...) en caso de necesidades de ampliación futura.

Con estos requisitos se utilizarán equipos de la gama 7200, que es la más sencilla dentro de los recomendados por Cisco para aplicaciones de Data Centre, y cumplen los requisitos de robustez, modularidad y el rendimiento necesario para dar servicio al cliente.

Dentro de la gama 7200 se ha considerado el 7204VXR que ofrece las prestaciones necesarias con un coste contenido. Este equipo dispone de un slot para una tarjeta procesadora y 4 slots para tarjetas de puertos, garantizando así la posibilidad de modificar la configuración o ampliar la capacidad.

Se han descartado otras opciones como el 7206VXR, ya que la principal ventaja que ofrece este equipo es la disponibilidad de 6 slots para tarjetas de puertos y el coste del chasis con la controladora prácticamente duplica el del 7204.

También se han descartado otras series inferiores como la 3800 debido a que no ofrecen el rendimiento ni la modularidad necesarios para los requisitos de los Data Centre.

Como procesadora se utilizará la NPE-G1, la más potente disponible en el momento del diseño, equipada con 1GB de memoria (máximo soportado por la procesadora) para garantizar la estabilidad y el rendimiento en condiciones de carga. Esta procesadora dispone de 3 puertos GBE, utilizándose uno de ellos para la conexión del enlace con la VPN-MPLS.

Para proporcionar una mayor robustez se instalará una fuente de alimentación redundante, asegurando el funcionamiento del equipo en caso de fallo de la fuente de alimentación principal.

Por tanto como equipamiento para los Data Centre de Madrid y Barcelona se utilizarán *routers* Cisco 7204 VXR para cada una de las vías, con la siguiente configuración:

Producto	Descripción
<b>CISCO7204VXR</b>	Cisco 7204VXR, 4-slot chassis, 1 AC Supply w/IP Software
<b>PWR-7200/2</b>	Cisco 7200 Redundant AC Power Supply Option (280W)
<b>CAB-ACE</b>	Power Cord Europe
<b>S72C-12312</b>	Cisco 7200 Series IOS IP PLUS
<b>NPE-G1</b>	7200 Network Processing Engine with 3 GE/FE/E ports
<b>MEM-NPE-G1-1GB</b>	Two 512MB mem modules (1GB total) for NPE-G1 in 7200
<b>MEM-NPE-G1-FLD64</b>	Cisco 7200 Compact Flash Disk for NPE-G1, 64 MB included

**Tabla 3:** Configuración de los *routers* Cisco 7204.

El único elemento diferente entre los equipos de ambas sedes y de sus correspondientes vías será el interfaz óptico de salida hacia la fibra óptica del operador, pudiendo utilizarse módulos SFP SX para corta distancia (inferior a 200 metros), SFP LX para media distancia (inferior a 10 Km) ó SFP ZX en el caso de larga distancia (por encima de los 10 Km).

Los interfaces ópticos a utilizar en cada uno de los casos serán los siguientes:

Sede	Interfaz Enlace Principal	Interfaz Enlace Backup
<b>DC Madrid</b>	SFP LX	SFP SX
<b>DC Barcelona</b>	SFP LX	SFP LX

**Tabla 4:** Interfaces para los *routers* Cisco 7204 de los Data Centre.

Para el resto de las sedes, dado el caudal requerido y la menor criticidad en el funcionamiento global de la solución, se buscará una alternativa más sencilla y económica sin dejar a un lado las prestaciones.

Dentro de la gama de Cisco se plantea utilizar *routers* compactos de la serie 3800. Dentro de la serie 3800 existen dos alternativas, el 3825 y el 3845. El 3825 se descarta por rendimiento, ya que no permite soportar tasas de transferencia superiores a unos 150-200 Mbps de forma continua y estable, valor insuficiente para los requisitos de algunas sedes. Por el contrario el 3845 ofrece un rendimiento que permite alcanzar tasas de entorno a 350 Mbps de forma estable, caudal suficiente para los requisitos establecidos.

Se han descartado también modelos de series inferiores, como la serie 2800, debido a que no ofrecen el rendimiento necesario.

Se podría plantear la utilización de diferentes modelos en función del caudal requerido para cada sede, pero se ha preferido utilizar el mismo modelo en todas para simplificar las tareas de configuración y mantenimiento, proporcionar capacidad de procesamiento excedente para ampliaciones futuras, y proporcionar mayor robustez a la solución. En línea con la robustez el 3845 ofrece una serie de características no disponibles en otros modelos:

- Posibilidad de instalar una fuente de alimentación redundante integrada en el propio chasis.
- Memoria Flash USB para almacenamiento y recuperación rápida de la configuración.
- Monitorización avanzada de la temperatura y control de los ventiladores.
- Inserción en caliente de diversos componentes (tarjetas de puertos, placa base, fuentes de alimentación, etc.).

El *router* Cisco 3845 dispone de serie de dos puertos GBE, uno de los cuales se utilizará para la conexión del enlace con la VPN-MPLS. Además disponen de 4 ranuras para la inserción de tarjetas de red, que proporcionar interfaces para distintas tecnologías y capacidades.

Por tanto como equipamiento para el resto de las sedes se utilizarán *routers* Cisco 3845 conectados a cada una de las vías, con la siguiente configuración:

Producto	Descripción
<b>CISCO3845</b>	Cisco 3845 w/AC PWR, 2GE, IP Base
<b>PWR-3845-AC/2</b>	Cisco 3845 Redundant AC Power Supply
<b>CAB-ACE</b>	Power Cord Europe
<b>S384SPSK9</b>	Cisco 3845 IOS SP SERVICES
<b>MEM3800-256D</b>	256MB SDRAM default memory for 3800
<b>MEM3800-64CF</b>	64MB Cisco 3800 Compact Flash Memory Default

**Tabla 5:** Configuración de los *routers* Cisco 3845.

En los casos en los que el acceso está constituido por un enlace GBE se equipará el *router* con el interfaz óptico SFP necesario en función de la distancia. En las sedes en las que el acceso se realice mediante un enlace FE se utilizará un interfaz eléctrico SFP-T.

Para aquellas sedes o enlaces en los que el acceso es a través de un circuito de 34 Mbps será necesario equipar el *router* con una tarjeta NM-1T3/E3 adicional, que permite la entrega del circuito E3 directamente mediante interfaz G703.

Los módulos a utilizar para cada una de las sedes se resumen en la siguiente tabla:

Sede	Interfaz Enlace Principal	Interfaz Enlace Backup
<b>Madrid I</b>	SFP LX	SFP LX
<b>Madrid II</b>	SFP LX	SFP LX
<b>Madrid III</b>	SFP LX	SFP ZX
<b>Madrid IV</b>	SFP LX	SFP LX
<b>Madrid V</b>	SFP LX	SFP LX
<b>Barcelona I</b>	SFP LX	SFP LX
<b>Barcelona II</b>	SFP LX	SFP LX
<b>Barcelona III</b>	SFP LX	SFP LX
<b>Barcelona IV</b>	SFP LX	SFP LX
<b>Sevilla I</b>	SFP SX	Tarjeta NM-1T3/E3
<b>Alicante I</b>	SFP LX	Tarjeta NM-1T3/E3
<b>Tenerife I</b>	Tarjeta NM-1T3/E3	Tarjeta NM-1T3/E3
<b>Las Palmas I</b>	SFP LX	SFP LX
<b>Badajoz I</b>	SFP SX	Tarjeta NM-1T3/E3
<b>Asturias I</b>	SFP SX	Tarjeta NM-1T3/E3

**Tabla 6:** Interfaces para los *routers* Cisco 3845 en cada una de las sedes.



### 4.3 Diseño de la Solución de Voz.

#### 4.3.1 Plataforma de voz del Operador.

La plataforma de ToIP (*Telephony over IP*) del operador está constituida por una serie de elementos principales:

- *Softswitch* de clase 5 IP (i-SSW del fabricante Italtel) que implementa funcionalidades de *Call Agent*, *Media Gateway Controller* y *Signalling Gateway* sobre la misma plataforma.
- Una pareja de *Gatekeepers* Cisco 3660.
- Una pareja de *Media Gateways* Cisco AS4500.
- Una pareja de SBC (*Session Border Controller*) del fabricante Acme Packet, utilizado como elemento controlador del tráfico de señalización y medios aislando la red de acceso de los clientes de la red de *backbone*, donde se encuentra ubicada la plataforma del operador.

Los componentes del i-SSW son modulares y totalmente redundantes y pueden configurarse de forma distribuida (dentro de una LAN o en un escenario totalmente distribuido). Los principales módulos que constituyen el i-SSW son los siguientes:

- OPM (*Optical Peripheral Module*). Es el núcleo principal de la plataforma donde se integran distintos tipos de tarjetas o módulos multiservicio que permiten soportar una amplia variedad de funcionalidades: *Media Gateway Controller*, *Media Server*, *Media Gateway*, *Signalling Gateway*, *TDM Switching*, Control de usuarios, protocolo ISUP, servicios telefónicos suplementarios, etc. Los OPM son escalables, pudiendo haber varios dentro de la plataforma, y permite integrar hasta 9 tarjetas.
- ISM (*Interconnection Switching Matrix*). Es el módulo encargado de proporcionar la capacidad de conmutación entre los distintos módulos OPM, incluyendo funcionalidades de sincronización y temporización. Dado que la plataforma está constituida por un único OPM este módulo no está presente en la implementación del i-SSW del operador.
- PHS (*H.323 Protocol Handling Server*). Este módulo proporciona al i-SSW las capacidades para la gestión de interfaz y adaptación de señalización para el protocolo H.323, haciendo de intermediario entre las funciones de control de llamada y de gestión de llamadas.

- OMS (*Operation & Maintenance Server*). Es el módulo que realiza las funciones de Operación y Mantenimiento de todos los elementos de la red del i-SSW. Gestiona la configuración lógica y física de todos los módulos y recoge la información de facturación de la plataforma. Se comunica con el resto de los módulos mediante TCP/IP estándar.
- CPS\_VTCH (*Virtual Termination Call Handler*). Este módulo es el encargado de soportar la comunicación con los *Media Gateways*, mediante protocolo MGCP (*Media Gateway Control Protocol*), así como de gestión de la señalización SS7 para la comunicación con la red PSTN.

En la plataforma del operador los módulos están interconectados a través de una LAN específica.

Esta LAN está constituida por dos *switches* Cisco Catalyst 3550 redundantes entre sí e interconectados a través de un doble enlace FE. Todos los elementos de la plataforma se conectan con ambos *switches* por enlaces FE, garantizando así la redundancia en el acceso a la plataforma y en la comunicación entre módulos.

El acceso al *backbone* de la red IP, y con ello a la red MPLS para la conectividad con las sedes del cliente, se realiza a través de una pareja de *routers* Cisco 7600 dedicados a las plataformas de voz y conectados directamente a los *routers* del núcleo de la red IP. Ambos *routers* son redundantes entre sí y cada uno de ellos está conectado a uno de los Catalyst 3550.

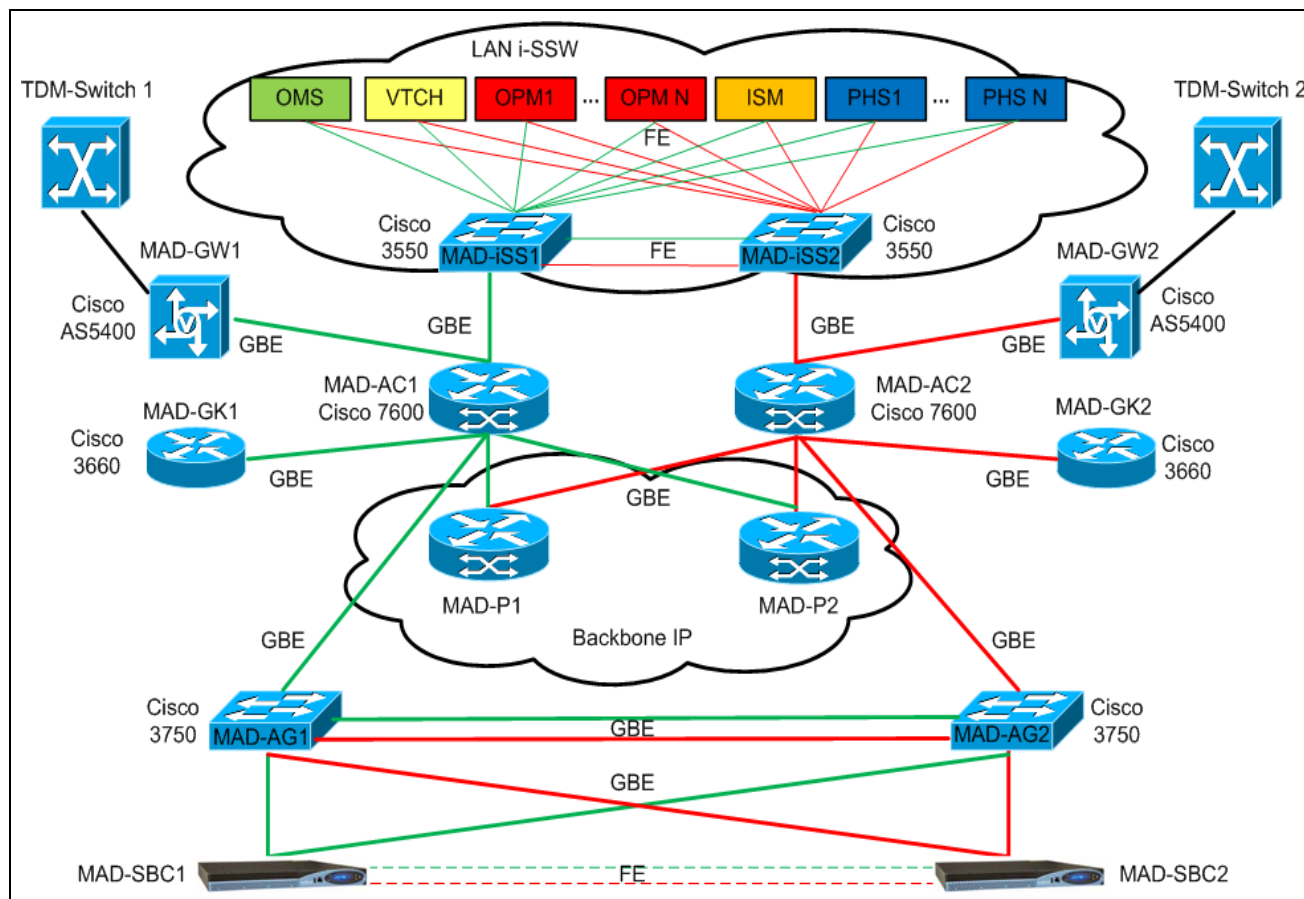
Dentro de esta arquitectura los SBC se encuentran ubicados fuera de la LAN de la plataforma de voz y conectados directamente a la red de *backbone*. Para ello existen dos *switches* Cisco Catalyst 3750 que actúan como agregadores, permitiendo añadir nuevos SBC a medida que sea necesario ampliar capacidad, y por otro lado poseen capacidades de *routing* para el diálogo con los *routers* del *backbone* de datos.

A fin de asegurar la redundancia en el acceso de los SBC a la red de datos los agregadores están conectados entre sí por un doble enlace GBE de fibra, y cada uno de ellos se conecta a uno de los Cisco 7600 de acceso al *backbone*.

Cada uno de los SBC se conecta a su vez a los agregadores mediante un doble enlace GBE de fibra, y cada pareja de SBC está interconectada entre sí mediante un interfaz FE directo para gestionar el balanceo de carga. Utilizar los SBC por parejas permite ofrecer redundancia de equipos.

Finalmente los *gatekeepers* y *media gateways* también se encuentran fuera de la LAN y se conectan directamente a los *routers* de acceso al *backbone*. Hay una pareja de *gatekeepers* y otra de *media gateways* para proporcionar redundancia de equipamiento y cada uno de ellos se conecta a uno de los *routers* de acceso mediante un enlace de fibra GBE.

El siguiente esquema muestra la arquitectura básica de la plataforma de voz:



**Figura 38:** Arquitectura de la plataforma de voz existente.

### 4.3.2 Infraestructura de voz del cliente.

La infraestructura del cliente está constituida por los siguientes elementos:

- Servidores Avaya serie S8700.
- Gateways Avaya Serie G650.
- Terminales de voz. Principalmente terminales IP Avaya, aunque también dispone de terminales digitales Avaya y algunos terminales analógicos.

Esta infraestructura viene ya dada por el cliente y, como tal, la elección de estos componentes no forma parte del diseño de la solución. Ahora bien, uno de los requisitos, y por tanto objetivo de la solución de red a diseñar, es el de aprovechar y reutilizar esta infraestructura. La solución ofrecida ha de ser compatible y apoyarse en estos componentes, de ahí que se ha considerado importante realizar una breve descripción de la infraestructura como parte del contexto.

Los servidores son los elementos donde reside la inteligencia del sistema de voz. Pueden realizar funciones de *Call Server*, *Call Controller*, *Gatekeeper* y *Media Gateway Controller*.

Cada servidor S8700 está formado por una pareja de servidores que operan de forma redundante, con uno de los servidores activo y el otro en espera (configuración *hot-standby*) pudiendo cualquiera de los dos actuar como activo o espera en un momento dado.

Para el acceso al servidor se define una dirección IP virtual que es la que adopta el servidor que esté activo y la que tienen configurada el resto de los elementos de la plataforma como IP del servidor, con lo que el paso de un servidor a otro será transparente para estos elementos. El mecanismo es similar al que utiliza el protocolo HSRP.

Los *gateways* de la serie G650 se utilizan como elementos complementarios de los servidores S8700. A diferencia de otros modelos, estos no implementan el protocolo de control MGCP y son controlados directamente por los servidores haciendo uso de protocolos propietarios de Avaya. Este tipo de *gateways* se conocen también como *port networks* ya que ofrecen la posibilidad de insertar hasta 14 tarjetas de puertos que le permiten soportar una amplia variedad de equipos terminales (VoIP, analógicos, digitales, RDSI) y diferentes tecnologías para la transmisión de la voz (IP, analógicas, TDM, ATM).

Dentro de las diferentes tarjetas que soporta hay tres que son fundamentales para la solución de telefonía IP:

- Tarjetas C-LAN (Control-LAN). Constituyen el interfaz IP para el tráfico de señalización H.225, tanto hacia los terminales (*end-points* en general) como hacia los IP *trunks* (cada IP *trunk* está asociado a un grupo de señalización que es gestionado por la C-LAN). Una misma C-LAN puede utilizarse como interfaz de varios *Media Gateways*. En un entorno de *call centre* las tarjetas C-LAN están diseñadas para soportar una carga de tráfico de hasta 200-250 terminales (200-250 sesiones de voz simultáneas) y 6 *Media Gateways*.
- Tarjetas MedPro/MR320. Operan como el interfaz IP para los flujos de audio (RTP) y realizan la conversión de medios de IP a otro tipo de medios (analógico, TDM, etc.) cuando es necesario. La diferencia entre las tarjetas MedPro y MR320 es básicamente la capacidad, con un máximo de 64 llamadas en el caso de las MedPro frente a las 320 que pueden soportar las MR320.
- Tarjetas IPSI (*IP Server Interface*). Proporcionan el interfaz IP para la comunicación con los servidores S8700

#### 4.3.3 Diseño de la solución.

En el extremo del cliente la arquitectura estará formada por un *Media Gateway* G650 de Avaya instalado en cada una de las sedes, equipado con tarjetas C-LAN, MR320 e IPSI (una tarjeta de cada tipo por sede). Desde el punto de vista del operador el único elemento a tener en cuenta es el número de tarjetas C-LAN y el tráfico generado por el cliente, el resto de tarjetas dependerá de las necesidades del cliente y estará fuera de la solución ofrecida por el operador.

En cada uno de los Data Centre se instalará un servidor S8700 (teniendo en cuenta que cada uno de estos servidores está compuesto a su vez por dos servidores redundados) encargado tanto del control de los *Media Gateway* como de la comunicación hacia la plataforma para la entrega y recogida de tráfico hacia y desde el operador.

A priori el tráfico de voz de las diferentes sedes se repartirá entre ambos Data Centre siguiendo la distribución, volumen de canales simultáneos y número de tarjetas C-LAN por sede que se muestra en la siguiente tabla:

Sede	Data Centre	Sesiones simultáneas	Nº CLAN/Sede
<b>Madrid I</b>	DC Madrid	400	2
<b>Madrid II</b>	DC Madrid	400	2
<b>Madrid III</b>	DC Madrid	200	1
<b>Madrid IV</b>	DC Madrid	400	2
<b>Madrid V</b>	DC Madrid	400	2
<b>Barcelona I</b>	DC Barcelona	100	1
<b>Barcelona II</b>	DC Barcelona	100	1
<b>Barcelona III</b>	DC Barcelona	200	1
<b>Barcelona IV</b>	DC Barcelona	100	1
<b>Sevilla I</b>	DC Barcelona	200	1
<b>Alicante I</b>	DC Barcelona	100	1
<b>Tenerife I</b>	DC Barcelona	75	1
<b>Las Palmas</b>	DC Barcelona	75	1
<b>Badajoz I</b>	DC Madrid	100	1
<b>Asturias I</b>	DC Madrid	100	1

**Tabla 7:** Tráfico de voz (sesiones simultáneas) por sede.

La comunicación entre la plataforma de voz, los servidores y los *media gateways* se realizará a través de la red MPLS. Los servidores y los *media gateways* están conectados dentro de la LAN del cliente en cada una de las sedes, LAN a la que también están conectados los CE a través de los que accederán a la red VPN-MPLS. Por otro lado la plataforma del operador tiene conectividad con el *backbone* IP para la entrega del tráfico desde o hacia el cliente.

Este es el primer cliente para el que se va a implementar un servicio de este tipo y, dados los volúmenes de tráfico esperados, se optará por separar el tráfico de otros servicios de voz existentes del generado por los clientes con IP-PBX. Por otra parte, para soportar el tráfico generado por CONTACT será necesario realizar ampliaciones dentro de la plataforma.

El dimensionamiento de la solución se realizará en base información de los requerimientos de tráfico proporcionados por el cliente, utilizándose los siguientes datos como punto de partida:

- Tiempo medio de llamada: 80 segundos.
- Protocolo de señalización: H.323.
- Códec: G.729
- Capacidad para soportar hasta 3000 sesiones simultáneas en H.323 (entre llamadas entrantes y salientes).
- Se asume el caso peor en el que el 100% de las llamadas son IP-PSTN ó PSTN-IP.

La solución a implementar permitirá los siguientes escenarios de llamadas:

- H.323 – H.323. Para la comunicación entre distintos clientes (tanto distintos clientes del operador como distintos usuarios del cliente CONTACT).
- H.323 – PSTN. Llamadas salientes hacia la red PSTN.
- PSTN – H.323. Llamadas entrantes desde la PSTN.

Se analizarán a continuación las necesidades para cada uno de los elementos de la plataforma.

### ***Media Gateways***

Los AS4500 existentes en la plataforma disponen de 16 interfaces de salida hacia la red PSTN cada uno. Como se ha comentado previamente tanto por cuestiones de dimensionamiento como de separación del tráfico para el nuevo servicio se instalarán nuevos *Media Gateways* para dar servicio al cliente.

Dentro del catálogo de módulos que pueden soportar los OPM del i-SSW hay un tipo de tarjetas (USEDSP-A1) con funcionalidad de *Media Gateway*, con las que esta funcionalidad quedaría integrada dentro del OPM en lugar de realizarla un elemento externo.

Estas tarjetas pueden procesar una alta densidad de circuitos de voz digitales, pudiendo hacer compresión dinámica, cancelación de eco, *jittering*, supresión de silencios y paquetización. El

control se realiza mediante el protocolo estándar MGCP implementado también dentro del OPM.

La principal ventaja de utilizar esta solución es la modularidad y escalabilidad, que permite ir añadiendo módulos al OPM en función de las necesidades de tráfico del cliente o de la plataforma en general, sin necesidad de realizar configuraciones o intervenciones complejas en red. Por otro lado al estar integradas como un componente del i-SSW se gestionan mediante el OMS sin necesidad de utilizar elementos adicionales para la gestión.

Por la completa integración dentro del i-SSW y en particular del OPM esta solución se conoce como *Media Gateway Integrado* (MGI), y es la que se utilizará para el servicio de IP *trunking*.

Cada tarjeta USEDSP-A1 puede soportar el procesamiento de hasta 336 canales simultáneos, con lo que serían necesarias 9 tarjetas para manejar el tráfico requerido por el cliente. Para proporcionar redundancia y mayor robustez en caso de mal funcionamiento de alguna de las tarjetas se introducirán dos tarjetas adicionales pero en configuración de *load-sharing*.

Con esta configuración las 11 tarjetas estarán en activo pero con una menor carga de tráfico y en caso de fallo de alguna de ellas el tráfico se distribuiría entre las restantes.

Para la conexión hacia la red IP cada tarjeta dispone de dos interfaces Ethernet 10/100/1000. Desde el punto de vista de conectividad se establecerán dos enlaces FE desde cada tarjeta a la LAN del i-SSW, funcionando uno de ellos como enlace principal y el otro como *backup*. A su cada uno de los enlaces se conectará a uno de los Catalyst 3550 de la LAN, garantizando la redundancia de enlaces y equipos.

Junto con las tarjetas de MGI será necesario proporcionar la capacidad de salida hacia la red PSTN para el tráfico del cliente. Para ello el OPM dispone de otro tipo de módulos que son las tarjetas UL2M16, con capacidad para 16 E1s, o las tarjetas USTM1N, con capacidad para 1 STM1. Partiendo de los requerimientos, para soportar las 3000 sesiones simultáneas serán necesarios 100 E1s de salida hacia la PSTN (a razón de 31 canales por E1 permitirían un máximo de 3100 sesiones simultáneas).

Por tanto, dado el número de E1s de salida necesarios, se utilizará una tarjeta USTM1N creando una nueva ruta STM1 hacia el conmutador TDM del nodo.

Desde el punto de vista de la redundancia el módulo OPM existente en la plataforma ya dispone de dos tarjetas USTM1N con capacidad disponible. Las tres tarjetas (las dos existentes más la nueva) se configurarán el *load-sharing* funcionando todas en activo y en caso de fallo de una de ellas el tráfico se repartiría entre las restantes.



## OPMs

La plataforma de voz está constituida inicialmente por un único OPM. Cada OPM puede albergar hasta 9 tarjetas multiservicio y en el módulo instalado en la plataforma hay capacidad disponible para alojar 3 tarjetas.

Dado que se requieren 12 tarjetas (11 USEPDSP-A1 y 1 USTM1N) para dar servicio al cliente será necesario añadir un nuevo módulo OPM a la plataforma.

En el OPM existente se instalará la tarjeta USTM1N y dos tarjetas USEPDSP-A1, y en el nuevo se instalarán las nueve tarjetas USEPDSP-A1, restantes.

Para la comunicación con el resto de los elementos de la plataforma en nuevo módulo se conectará a la LAN del i-SSW mediante un enlace FE con cada uno de los Catalyst 3550 de la LAN (con configuración activo-*backup* en los enlaces).

## ISMs

Inicialmente la plataforma de voz del operador no dispone de un módulo ISM. Por el dimensionamiento de la solución para el cliente es necesario incluir un segundo módulo OPM para instalar parte de las tarjetas MGI, por lo que será necesario introducir en la plataforma un módulo ISM para gestionar las conexiones fónicas entre los dos módulos OPM y proporcionar sincronismo al nodo.

El módulo ISM se conectará a la LAN del i-SSW mediante un enlace FE con cada uno de los Catalyst 3550.

## PHSs

Dentro de la solución los módulos PHS realizan la función del control de la señalización en H.323. En la plataforma hay dos módulos PHS pero por el volumen del cliente y la separación del tráfico para los clientes con IP-PBX se utilizarán nuevos módulos.

Cada módulo PHS puede soportar hasta 2200 sesiones simultáneas, entre llamadas entrantes y salientes, por lo que para manejar el tráfico del cliente se necesitarán dos nuevos módulos PHS. Se introducirá adicionalmente un tercer módulo para garantizar la redundancia en caso de fallo de alguno de los otros módulos.

Los módulos estarán configurados de forma que los tres atenderán llamadas pero con una carga inferior a la que pueden soportar pudiendo absorber el tráfico en caso de caída de alguno de los módulos.

Al igual que el resto de módulos de la plataforma la conectividad de cada uno de los PHS con la LAN se realizará mediante enlaces FE con cada uno de los Catalyst.

## **OMS**

Este módulo es único para todos los elementos de la plataforma. Los nuevos elementos introducidos para soportar el tráfico y la solución ofrecida al cliente se gestionarán a través del OMS ya existente en la plataforma, no siendo necesario realizar ampliaciones o cambios en la infraestructura del mismo.

## **SBCs**

El SBC será uno de los elementos fundamentales dentro de la arquitectura propuesta para la solución del cliente.

Dentro de la plataforma hay una pareja de SBC de la serie 4000 del fabricante Acme Packet. Este equipo presenta diferentes modos de funcionamiento: *Back to Back Gateway*, *Back to Back Gatekeeper and Gateway*, *Interworking Gatekeeper and Gateway*, y *Gatekeeper Proxy*.

Dentro de la solución el modo de funcionamiento a utilizar será *Back to Back Gateway and Gatekeeper* (B2BGK/GW) en el que el SBC se introduce como elemento intermedio entre la red del operador, donde se encuentra ubicada la plataforma de voz, y la red del cliente, donde se encuentran las centralitas IP-PBX, interceptando tanto el flujo de señalización H.323 como el tráfico RTP.

El SBC mantendrá dos interfaces para realizar estas funciones:

- Interfaz de acceso o *Southbound*. Es el interfaz hacia la red del cliente. Las centralitas IP-PBX del cliente sólo verán las direcciones “South” de los SBC y el diálogo H.323 y RTP será entre estas direcciones y las direcciones IP de las diferentes tarjetas de la centralita de cliente (C-LAN). Esto permite ocultar la topología de la red del operador y hacer una traducción de direcciones entre el espacio de direccionamiento utilizado internamente en la plataforma y el utilizado para la comunicación con el cliente, que en este caso será direccionamiento público.
- Interfaz de *core* o *Northbound*. Es el interfaz hacia la red del operador. La plataforma del operador sólo verá las direcciones “North” del SBC, manteniendo el diálogo entre las direcciones los PHS y el SBC para el tráfico de señalización, y entre las tarjetas MGI y el SBC para el tráfico RTP.

En lo que respecta al dimensionamiento para las características de tráfico del cliente cada SBC podría soportar un máximo de 2600 sesiones simultáneas. Dado que la carga de la pareja de SBCs existentes es baja se plantea como opción utilizarlos dentro de la solución, pero por otra parte el tráfico generado por el cliente es muy elevado con lo que prácticamente consumiría toda la capacidad disponible y en caso de caída un solo SBC no podría soportar todo el tráfico.

Por tanto se adoptará una solución intermedia basada en la introducción de una nueva pareja de SBCs complementando a la existente con la siguiente estructura para el reparto de tráfico y funciones:

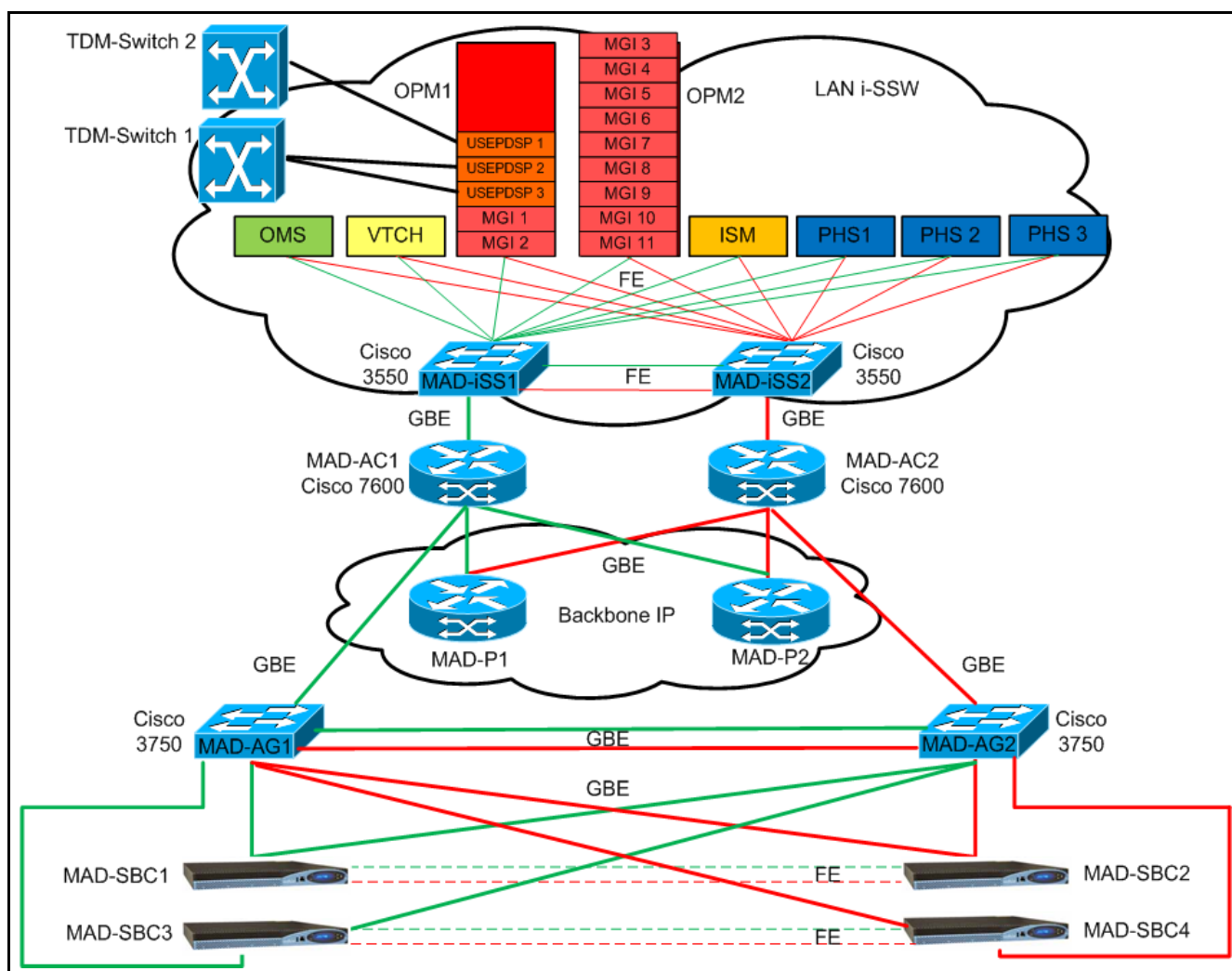
- Uno de los nuevos SBC se utilizará exclusivamente para el cliente soportando 2000 sesiones simultáneas, trabajando con ello por debajo de su carga máxima y con capacidad disponible para futuros crecimientos.
- Uno de los SBC existentes se utilizará parcialmente para el cliente soportando 1000 sesiones simultáneas, dejando la capacidad restante para otros clientes.
- Los otros dos SBCs, uno de los nuevos y otro de los existentes, se utilizarán como *backup* de los primeros.

La conectividad de los SBC con el backbone se realizará a través de los switches agregadores, con dos enlaces GBE por SBC uno contra cada uno de los agregadores tal y como se detalla en el apartado 5.3.1.

De esta forma se consigue que los SBCs estén ubicados entre el *backbone* de la red de datos y el resto de los elementos de la plataforma de voz, realizando su función de intermediario sin incrementar el volumen de tráfico en la LAN de la plataforma.

Los SBCs se podrían haber integrado dentro de la LAN de la plataforma, pero en este caso todo el tráfico procedente de las centralitas del cliente llegaría a los SBCs a través de la LAN, y posteriormente todo el tráfico de los SBCs hacia los distintos elementos de la plataforma se transmitiría también a través de la LAN. Colocando los SBCs fuera de la LAN se consigue que sólo se envíe a través de ella el tráfico de los SBCs hacia los elementos de la plataforma, reduciendo a la mitad el tráfico, y con ello el nivel de carga de la LAN.

A su vez esta estructura permite añadir nuevos SBCs de forma rápida y sencilla, sin tener que hacer cambios dentro de la arquitectura de la plataforma. El siguiente esquema muestra la arquitectura de la plataforma con las ampliaciones y elementos necesarios para dar servicio al cliente:



**Figura 39:** Arquitectura de la plataforma de voz para la solución del cliente.

MGI1 a MGI11 son las once nuevas tarjetas de Media Gateway Integrado que se introducirán para el tráfico de media del cliente.

OPM2 es el módulo OPM a instalar para albergar 9 de las 11 tarjetas MGI

USEPDSP3 es la tarjeta que se instalará para los circuitos de salida hacia la red PSTN. La salida hacia la red se realizará a través de las tres tarjetas (USEPDSP1, USEPDSP2 y USEPDSP3) con reparto de carga.

PHS1 a PHS3 serán los nuevos módulos PHS para el control de la señalización H.323 de las llamadas de voz del cliente.

ISM es el módulo que se instalará para gestionar las conexiones fónicas entre los dos módulos OPM y proporcionar sincronismo en la plataforma.

MAD-SBC1 y MAD-SBC2 son los SBC existentes en la plataforma que se utilizarán para soportar parte de las sesiones de voz del cliente (hasta un máximo de 1000 sesiones). MAD-SBC1 será el principal y MAD-SBC2 será el equipo de *backup*.

MAD-SBC3 y MAD-SBC4 son los nuevos SBC que se introducirán en la plataforma para soportar la mayor parte de las sesiones de voz del cliente (hasta un máximo de 2000 sesiones). MAD-SBC3 será el principal y MAD-SBC4 será el equipo de *backup*.

#### **4.3.4 Operativa de la solución.**

Por razones de dimensionamiento se crearán nuevas zonas H.323 para este cliente, separadas de la zona H.323 ya existente en la plataforma para otros servicios. En concreto se crearán dos nuevas zonas, cada una de ellas asociada a uno de los SBC.

De esta forma para las llamadas entrantes el i-SSW verá el SBC como un gatekeeper de la zona H.323 configurada para el cliente (el SBC actuará como *gatekeeper* virtual con una dirección IP “*North*” asociada) al que enviarán las peticiones RAS para el establecimiento de la llamada. El SBC por su parte responderá a estos mensajes y proporcionará al i-SSW la dirección IP “*North*” utilizada para el envío de señalización actuando de pasarela hacia la red de voz del cliente.

En cuanto a las llamadas salientes las centralitas (en este caso cada una de las tarjetas C-LAN) verán el SBC como el gatekeeper de la zona H.323 a la que pertenecen (el SBC funcionará como gatekeeper virtual con una dirección IP “*South*” asociada) al que enviarán las peticiones RAS para el establecimiento de la llamada. El SBC responderá a estos mensajes y

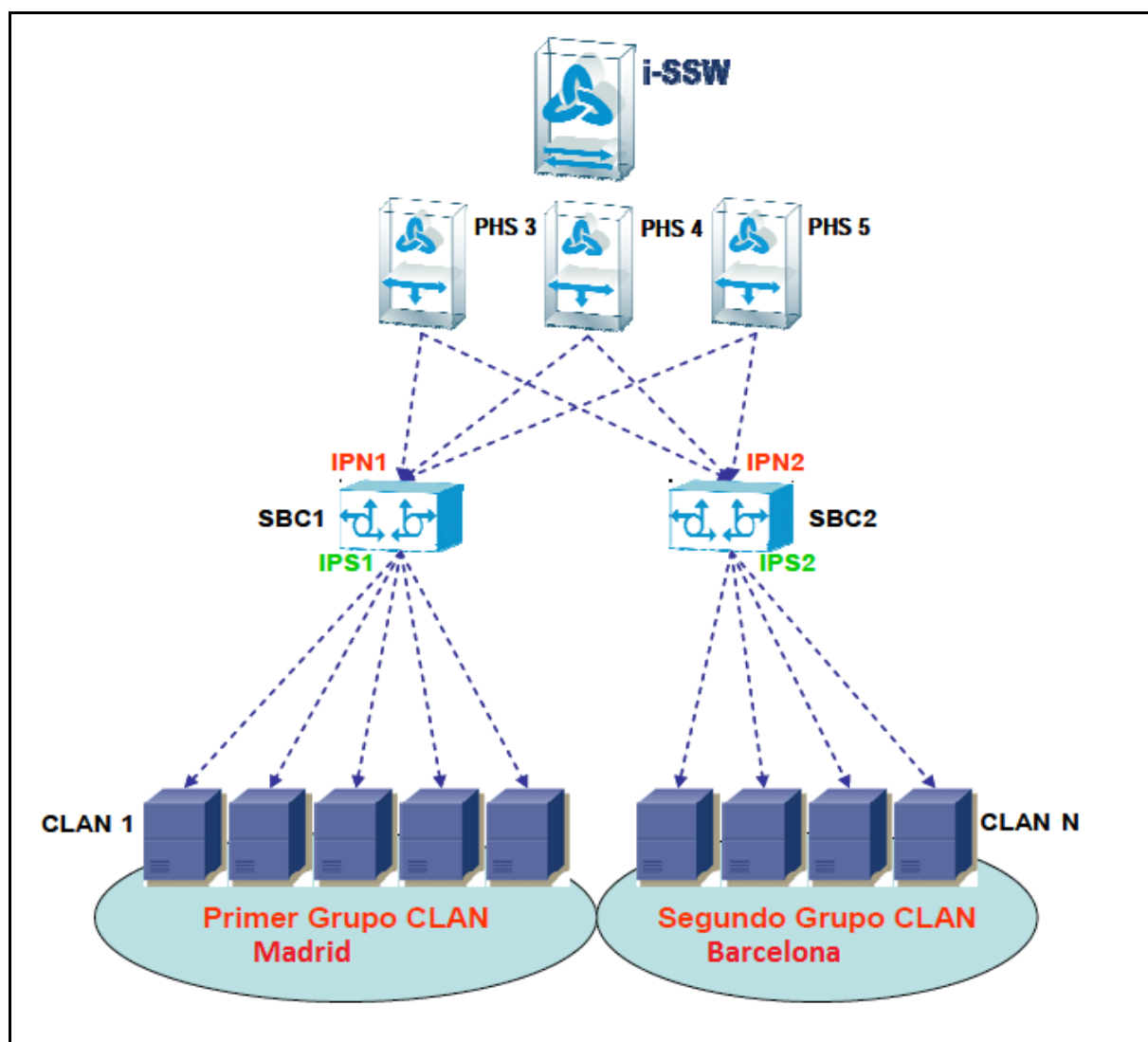
proporcionarás a la centralita la dirección IP “*South*” para el envío de señalización haciendo en este caso de pasarela hacia la plataforma del operador.

Para la distribución del tráfico entre los dos SBC se definirán dos grupos de numeraciones (GNR). Dentro del i-SSW cada grupo se asociará a la dirección IP “*North*” de uno de los SBC, de forma que las llamadas entrantes con destino hacia las numeraciones de ese grupo se encaminarán hacia el SBC asignado.

Por otra parte se crearán dos grupos de C-LAN, cada uno de ellos asociado a uno de los grupos de numeración, de forma que en caso de una caída de una C-LAN dentro de uno de los grupos el SBC sería capaz de redirigir las llamadas a otras C-LAN del grupo con lo que habría redundancia dentro de cada grupo.

Dado el dimensionamiento del cliente se establecerá un grupo con las C-LAN y numeración de todas las sedes que entregan el tráfico a través del Data Centre de Madrid, que estará asociado al nuevo SBC que soportará las 2000 sesiones que suman este conjunto de sedes. El otro grupo lo formarán las C-LAN y numeración de las sedes que entregan el tráfico a través del Data Centre de Barcelona, que estará asociado al SBC existente en la plataforma que soportará las 1000 sesiones que generan estas sedes.

La estructura de la distribución de grupos se muestra en el siguiente esquema:



**Figura 40:** Esquema de grupos de C-LAN.

El balanceo de carga entre las diferentes C-LAN para las llamadas entrantes lo realizará el SBC, que dispone de una funcionalidad de *Load Balancing*. Mediante esta funcionalidad en el SBC se configura un *Session Agent Group* (SAG) y el SBC balanceará la carga entre los diferentes Session-Agents (que en este caso serán las direcciones IP de cada una de las C-LAN). El método de balanceo de carga será el de *Least Busy*, enviando las llamadas hacia el destino disponible (en este caso tarjeta C-LAN) que presente menor carga.

En la solución propuesta el balanceo de carga se realizaría sólo dentro de cada uno de los grupos de C-LAN definidos, de forma que cada SBC controlará el reparto dentro del grupo que tiene asignado.

En el caso de las llamadas salientes las tarjetas C-LAN no tienen capacidad de balanceo de carga y sólo tienen visibilidad de la dirección IP “*South*” del Gatekeeper virtual del SBC, por lo que para cada C-LAN se configurará la IP de uno de los SBCs y las llamadas sólo podrán salir a través de ese SBC.

En el tramo desde el SBC al i-SSW el SBC tiene visibilidad de los tres PHS introducidos para dar servicio al cliente, siendo el propio SBC el que se encargará de balancear el tráfico según el método de *Least Busy*. De esta forma además de repartir la carga de tráfico en caso de caída de uno de los PHS el SBC podrá reenviar el tráfico hacia los restantes garantizando así la redundancia.

Desde el punto de vista de la conmutación se definirán *IP Trunks* desde las centralitas del cliente hasta la plataforma del operador, hacia los que se encaminarán todas las llamadas entrantes y salientes.

El *IP Trunk* como tal es una estructura lógica que identifica por dónde han de ser encaminadas las llamadas, por lo que no tiene limitación en cuanto al número de llamadas simultáneas que pueden transitar a través del *trunk*. La única limitación vendrá marcada por la capacidad de los enlaces IP por los que transita el tráfico de voz, en este caso los enlaces desde los Data Centre hacia la VPN-MPLS.

Puesto que hay dos puntos de entrega de tráfico se configurarán dos *IP Trunks*, uno hacia cada uno de los *Data Centre*, para establecer por cuál de los dos puntos se entregará el tráfico de cada una de las sedes. De esta forma se definirá un *IP Trunk* para las llamadas de las sedes asociadas al *Data Centre* de Madrid, y otro para el de las sedes asociadas al *Data Centre* de Barcelona (siguiendo la distribución de sedes definida en la tabla 7).

Se podrían definir más *IP Trunks*, incluso crear uno por cada sede, pero dado que no existe una limitación en cuanto al número de llamadas por *trunk* se ha optado por simplificar la arquitectura del servicio, facilitando con ello las tareas de configuración y operación del mismo. Con la estructura definida, todas las sedes asociadas a un *Data Centre* recibirán servicio del mismo SBC, pertenecerán a la misma zona H323, al mismo grupo de numeración y grupo de C-LAN y encaminarán las llamadas a través del mismo *IP Trunk*.



La definición y configuración de los *Trunks* se realiza en los servidores S8700, que harán las funciones de *Call Manager*, configurando en cada uno de los servidores el *trunk* que dará servicio a las correspondientes sedes. La configuración de los *IP trunks* consta fundamentalmente de tres pasos o elementos:

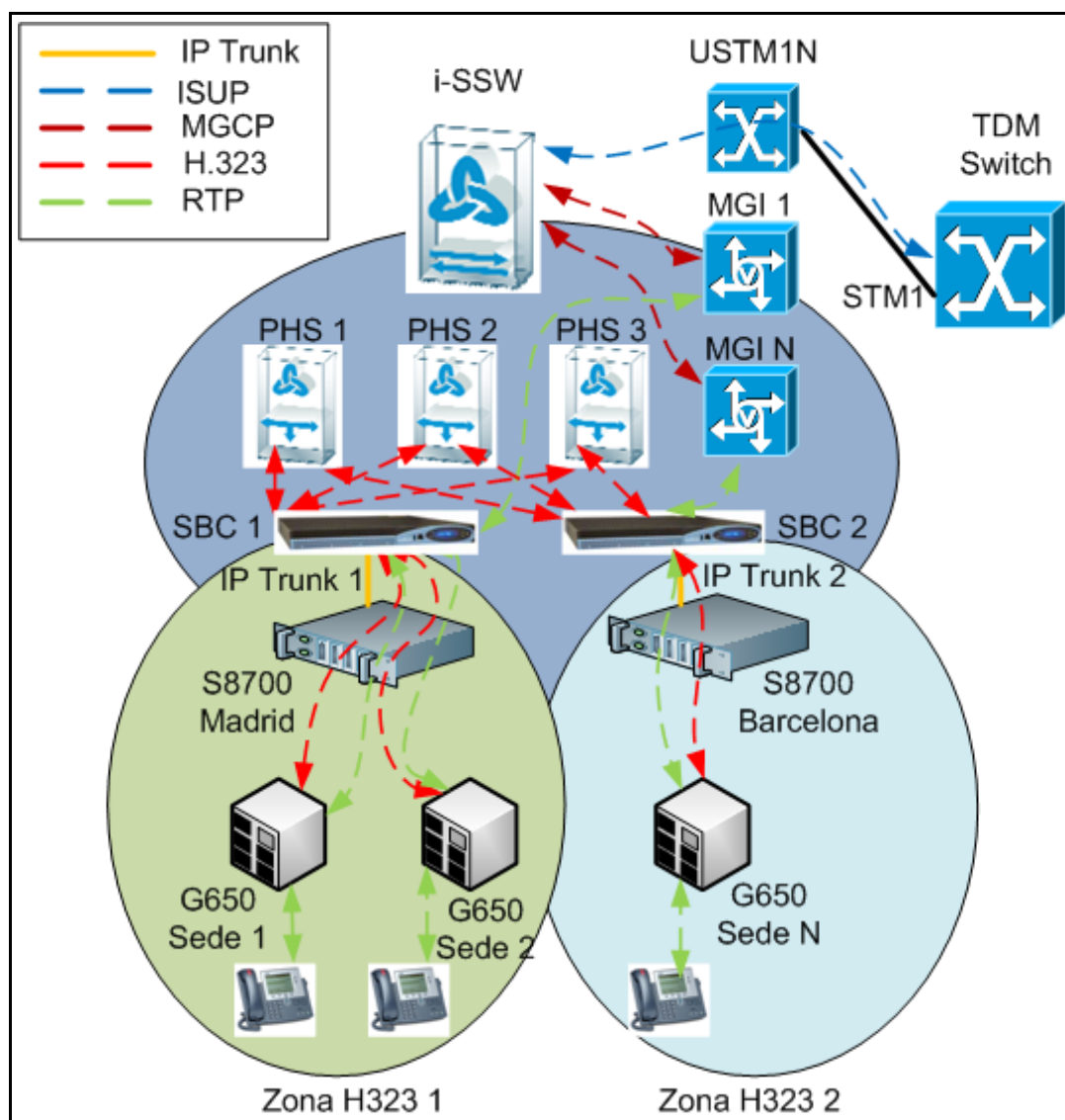
- Definición de las *Network Regions*. Una *Network Region* es un conjunto de *endpoints* que comparten características y recursos comunes. En este caso se configurará una *Network Region* por cada una de las C-LAN, agrupando en ella todos los terminales a los que se dará servicio utilizando la misma C-LAN como elemento de señalización.
- Configuración de los *Signaling Groups*. Un *Signaling Group* define el enlace utilizado para el intercambio de señalización, identificando el *Gatekeeper* local encargado de finalizar la señalización (que podría ser el servidor o la tarjeta C-LAN) y el *Gatekeeper* remoto donde finaliza la señalización en el otro extremo.

En la solución del cliente la función de *Gatekeeper* local la realizará cada una de las tarjetas C-LAN y el extremo remoto será el *Gatekeeper* virtual en el SBC (que a su vez redirigirá el tráfico de señalización hacia los módulos PHS del i-SSW). Cada *Signaling Group* se asociará con una *Network Region* de forma que todos los terminales que pertenezcan a la misma *Network Region* utilizarán la C-LAN configurada en el correspondiente *Signaling Group* como *Gatekeeper* local para el tráfico de señalización.

Puesto que las tarjetas C-LAN están ubicadas en los gateways del cliente, existentes en cada sede, con esta solución serán las C-LAN las encargadas de realizar las funciones de registro y admisión de los *endpoints* de esa sede. Como los gateways y las C-LAN son administradas por el cliente podrá definir y configurar libremente las restricciones, rechazos de llamadas, etc. para los usuarios de cada sede.

- Configuración del *IP Trunk*. La configuración de un *IP Trunk* consiste en crear un nuevo *trunk* en el servidor, especificar que es de tipo IP, y asociar los miembros al *trunk*. En este caso los miembros serán los *Signaling Groups* de las C-LAN que dan servicio a las sedes asociadas a cada uno de los *Data Centre*. De esta forma todas las llamadas con origen o destino hacia esas C-LAN como punto de señalización serán encaminadas a través del *trunk* del que son miembro.

El siguiente esquema muestra la arquitectura lógica de la solución:



**Figura 41:** Arquitectura lógica de la solución de voz.

#### 4.3.5 Calidad de servicio.

El tráfico de datos y el de voz tienen diferentes requerimientos en cuanto al tratamiento de los paquetes en la red. La voz es una aplicación de tiempo real y como tal para garantizar la calidad del servicio requerirá de la aplicación de mecanismos de QoS dentro de la red que permitan priorizar este tipo de tráfico transmitiéndolo de forma inmediata (baja latencia).

En la red MPLS del operador la calidad de servicio se implementa mediante la definición de diferentes clases de servicio (CoS), de forma que el tráfico asociado a cada una de las clases recibirá un tratamiento diferenciado dentro de la red. Se definen cuatro clases de servicio:

- **Bronze.** Es la clase que se aplica por defecto a todo el tráfico que es tratado en la red en *Best Effort*.
- **Silver.** Se caracteriza por garantizar el 50% del ancho de banda, con una pérdida de paquetes inferior al 10% y un retardo en la red inferior a 200 milisegundos.
- **Gold.** Esta clase se utiliza para aquellos servicios que requieren mayores garantías, con un 80% del ancho de banda garantizado, una pérdida de paquetes inferior al 5% y un retardo inferior a 150 milisegundos.
- **Platinum.** Es la clase utilizada para servicios que requieren muy baja latencia, con una garantía del 100% del ancho de banda, pérdida de paquetes inferior al 1% y un retardo inferior a 100 milisegundos.
- **Gestión.** Esta clase se utiliza de forma interna en la red del operador para el tráfico de gestión al que se le da la máxima prioridad y no se ofrece comercialmente.

Para asociar el tráfico con cada una de las clases de servicio se utiliza el marcado de los paquetes mediante *IP Precedence*. Con este mecanismo se utilizan los tres primeros bits del campo TOS (*Type of Service*) de la cabecera IP para identificar el tipo de tráfico y mapearlo con las clases de servicio existentes:

Precedence	Tratamiento	CoS
<b>000 (0)</b>	Routine	Bronze
<b>001 (1)</b>	Priority	Silver
<b>010 (2)</b>	Immediate	Silver
<b>011 (3)</b>	Flash	Gold
<b>100 (4)</b>	Flash Override	Gold
<b>101 (5)</b>	Critical	Platinum
<b>110 (6)</b>	Internetwork Control	Gestión
<b>111 (7)</b>	Network Control	Gestión

**Tabla 8:** Mapeo *IP Precedence* con CoS

En la solución proporcionada se utilizará la clase *Bronze para el tráfico de datos*, ya que este tráfico no resulta crítico para el cliente y no hay unos requerimientos específicos, y utilizar otra clase de tráfico encarecería el coste del servicio de forma innecesaria.

Por el contrario, para el tráfico de voz, tanto de señalización como de medios, se utilizará la clase *Platinum*. Los servicios de voz requieren en general de bajas latencias para funcionar correctamente y en el caso del cliente es además un servicio crítico para su actividad. Utilizando esta clase de servicio se garantizan tanto las bajas latencias como una alta disponibilidad en caso de congestión de la red.

En la sede del cliente será el CE el encargado de marcar el tráfico de voz con *Precedence 5*. Este marcado se realizará en el interfaz LAN de entrada (tráfico procedente de la LAN del cliente, en la que se encuentran conectados los GW o servidores) en función del direccionamiento.

En el extremo de la plataforma todo el tráfico se marcará con *Precedence 5*. El marcado lo realizarán los Catalyst 3550 de la LAN del i-SSW para los elementos que se encuentran dentro de la LN, y en el caso de los SBCs que se encuentran fuera de la LAN serán los propios SBCs los encargados de marcar todo el tráfico de salida.

En cada sede se reservará una parte del ancho de banda para clase *Platinum* en función del número de sesiones simultáneas estimado para esa sede (dato proporcionado por el cliente), según la siguiente tabla:

Sede	Sesiones simultáneas	BW Platinum
<b>DC Madrid</b>	2000	120 Mbps
<b>DC Barcelona</b>	1000	60 Mbps
<b>Madrid I</b>	400	12 Mbps
<b>Madrid II</b>	400	12 Mbps
<b>Madrid III</b>	200	6 Mbps
<b>Madrid IV</b>	400	12 Mbps
<b>Madrid V</b>	400	12 Mbps
<b>Barcelona I</b>	100	3 Mbps
<b>Barcelona II</b>	100	3 Mbps
<b>Barcelona III</b>	200	6 Mbps
<b>Barcelona IV</b>	100	3 Mbps
<b>Sevilla I</b>	200	6 Mbps
<b>Alicante I</b>	100	3 Mbps
<b>Tenerife I</b>	75	2.5 Mbps
<b>Las Palmas</b>	75	2.5 Mbps
<b>Badajoz I</b>	100	3 Mbps
<b>Asturias I</b>	100	3 Mbps

**Tabla 9:** Caudal de tráfico de voz por sede.

Para el cálculo se ha considerado que la utilización del códec G.729 (con intervalos de muestreo de 30 ms) que supone un consumo de unos 30 kbps/llamada. En el caso de los DC se considera el doble de ancho de banda ya que se contempla el tráfico desde las sedes al DC más el tráfico del DC hacia la plataforma de voz del operador.

La utilización del códec G.729, aparte de un requisito de cliente, permite proporcionar una buena calidad de voz (MOS<sup>8</sup> 3.9-4.2) con un consumo de ancho de banda muy reducido. Aunque la capacidad de los enlaces definidos para cada una de las sedes no supone una limitación para el ancho de banda del servicio de voz, el empleo de un códec más eficiente permite utilizar menos ancho de banda con calidad de servicio *Platinum* (reduciendo así el coste del servicio para el cliente). A su vez, desde el punto de vista del operador supone un menor consumo de recursos de red, especialmente de la capacidad disponible en la LAN de la plataforma de voz.

Utilizando un códec como G.711 (muy habitual también en las soluciones de voz), que utiliza codificación PCM sin compresión, se requerirían unos 87 kbps/llamada con una calidad de voz ligeramente superior a G.729 (MOS en torno a 4.3). Esto supondría, para el DC de Madrid por ejemplo, utilizar 348 Mbps con calidad de servicio, más del doble de lo que requiere la solución con G.729.

---

<sup>8</sup> MOS (Mean Opinion Score). Indicador que proporciona un valor numérico de la calidad percibida tras la compresión o transmisión de audio. Se obtiene mediante la media de los resultados de un conjunto de pruebas estándar realizadas por un conjunto de oyentes. Proporciona un valor entre 1 y 5, siendo 1 la menor calidad percibida, y 5 la mayor.

## Capítulo 5. Conclusiones y trabajos futuros

## 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El objetivo de este Proyecto Fin de Carrera es el diseño de una solución de red para un cliente que quiere proporcionar conectividad entre todas sus sedes, distribuidas geográficamente, y migrar todo el servicio de voz a una solución de VoIP.

El cliente ha experimentado una fuerte expansión en los últimos años, basada en la adquisición de empresas, por lo que la red actual se ha constituido mediante la superposición de redes con distintas soluciones y tecnologías que han dado lugar a una red compleja, poco flexible y poco escalable.

Con la nueva red se pretende simplificar la arquitectura y unificar la solución tecnológica para las diferentes sedes, trasladando la operación y el mantenimiento de la red al operador.

La solución diseñada se ha basado en la utilización de una red VPN-MPLS para la interconexión de todas las sedes.

Esta solución utiliza el *backbone* de la red de datos del operador, lo que permite aprovechar las ventajas de la misma (alta disponibilidad, capacidad, expansión geográfica, operación transparente para el cliente, etc.), y proporciona una alta escalabilidad y flexibilidad a la red del cliente. Para incorporar una nueva sede a la red sólo será necesario proporcionar el enlace desde la sede al punto de acceso a la red del operador, utilizando cualquier tecnología de acceso, y configurar el *router* de acceso.

También se ha buscado proporcionar redundancia y alta disponibilidad a la red, buscando siempre el compromiso con el coste de la solución. Todas las sedes disponen de enlaces de acceso redundado, con un enlace principal y otro de *backup* y un CE por cada uno de los enlaces en configuración *hot-standby*, y diferentes puntos de entrada a la red MPLS del operador.

Para el servicio de voz se ha buscado una solución que permita eliminar los primarios en la salida hacia la red pública y aprovechar tanto la nueva red de datos como la infraestructura de voz (terminales y centralitas) de la que dispone el cliente.

Se ha diseñado una solución de *IP Trunking*, pasando el servicio de voz a IP con tecnología H.323 y concentrando todo el tráfico en dos puntos donde se entrega hacia la plataforma del operador y su posterior salida hacia la red pública. El tráfico de voz entre sedes y hacia los puntos de entrega se realiza a través de la red VPN-MPLS implementada, en la que se prioriza este tráfico mediante la utilización de CoS.

En la red del operador se ha utilizado la plataforma H.323 existente dimensionando y ampliando los elementos necesarios para asumir el volumen de tráfico del cliente. Esta plataforma dispone de conectividad con el *backbone* de datos del operador para el tránsito de información hacia los puntos de entrega.

Uno de los elementos clave dentro de la plataforma será el SBC, que actúa como elemento intermedio entre la red del operador y la del cliente, interceptando tanto el tráfico de señalización como el de medios, ocultando la topología de la plataforma del operador, realizando la traducción de direccionamiento entre ambas redes y gestionando el reparto de carga hacia las centralitas del cliente y hacia los módulos de la plataforma.

Como líneas de trabajo futuro se propone el desarrollo de soluciones para dotar de acceso a la red a otro tipo de sedes con menores requerimientos de ancho de banda y número de llamadas simultáneas.

En este sentido se podría trabajar en la definición de la solución de red para proporcionar el acceso a la red MPLS mediante ADSL o cable, tanto del propio operador como a través de otros operadores en caso de no disponer de cobertura con red propia.

Dada la continua expansión del cliente y la actividad que desarrolla sería necesario también establecer una solución para el acceso de sedes internacionales, teniendo en cuenta que el operador no dispone de despliegue propio en otros países y la solución ha de ofrecer las mismas garantías de QoS.

Como complemento a la oferta del cliente se podría diseñar la solución para proporcionar servicio de acceso a Internet a todas las sedes utilizando la infraestructura desplegada, integrando todos los servicios (Internet, Voz y Datos) en la misma red.

Pensando en la evolución tecnológica una vía de trabajo es la de analizar la posible utilización de nuevas tecnologías para dotar de acceso a sedes ubicadas fuera de las zonas de despliegue del operador. Un ejemplo podría ser el uso de WiMAX en lugar de los radioenlaces tradicionales en sedes con menores requerimientos de ancho de banda.

En la parte de la voz como trabajo futuro se propone el diseño de la solución para la migración completa a SIP, como protocolo en expansión adoptado por el IETF como protocolo de señalización de 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) y elemento de la arquitectura IMS (*IP Multimedia Subsystem*).



---

## GLOSARIO

**3GPP** - 3rd Generation Partnership Project

**ADM** - Add Drop Multiplexer

**ADSL** - Asymmetric Digital Subscriber Line

**ATM** - Asynchronous Transfer Mode

**BE** - Border Element

**BGP** - Border Gateway Protocol

**CE** - Customer Edge Router

**CERC** - CE Routing Communities

**CoS** - Class of Service

**CPE** - Customer Premise Equipment

**CPS\_VTCH** - Virtual Termination Call Handler

**CR-LDP** - Constraint Based Label Distribution Protocol

**CWDM** – Coarse Wavelength Division Multiplexing

**Diffserv** - Differentiated Services

**DLCI** - Data Link Connection Identifier

**DNS** - Domain Name System

**DSCP** - Diffserv Code Point

**DWDM** – Dense Wavelength Division Multiplexing

**ESS** - Ethernet Service Switch

**FE** - Fast Ethernet

**FEC** - Forwarding Equivalent Class

**GBE** - Gigabit Ethernet

**GK** - Gatekeeper

**GW** - Gateway

**HSRP** - Hot Standby Router Protocol

**IAD** - Internet Access Device

**IETF** - Internet Engineering Task Force

**IMS** - IP Multimedia Subsystem

**IP** - Internet Protocol

**ISM** - Interconnection Switching Matrix

**LAN** - Local Area Network

**LDAP** - Lightweight Directory Access Protocol

**LDP** - Label Distribution Protocol

**LER** - Label Edge Router

**LIB** - Label Information Base

**LRQ** - Location Request

**LSP** - Label Switched Path

**LSR** - Label Switching Router

**MAN** - Metro Access Network

**MCU** - Multipoint Control Unit

**MG** - Media Gateway

**MGC** - Media Gateway Controller

**MGCP** - Media Gateway Controller Protocol

**MGI** - Media Gateway Integrado

**MOS** - Mean Opinion Square

**MPLS** - MultiProtocol Label Switching

**OMS** - Operation & Maintenance Server

**OPM** - Optical Peripheral Module

**OSPF** - Open Shortest Path First

**P** - Provider Router

**PBX** - Private Branch Exchange

**PDI** - Punto de Interconexión

**PDU** - Protocol Data Unit

**PE** - Provider Edge Router

**PHB** - Per Hop Behaviuor

**PHS** - H.323 Protocol Handling Server

**POS** - Packet Over SONET/SDH

**POTS** - Plain Old Telephone Service

**PSTN** - Public Switched Telephone Network

**PVC** - Private Virtual Circuit

**QoS** - Quality of Service

**RAS** - Registration, Admission and Status

**RDSI** - Red Digital de Servicios Integrados

**RFC** - Request for Comments

**RSVP** - Resource Reservation Setup Protocol

**RTCP** - Real-Time Transport Control Protocol

**RTP** - Real Time Protocol

**SAG** - Session Agent Group

**SBC** - Session Border Controller

**SDH** - Synchronous Digital Hierarchy

**SFP** - Small Form-Factor Pluggable

**SR** - Service Router

**TCP** - Transmission Control Protocol

**TDM** - Time Division Multiplexing

**TE-RSVP** - Traffic Engineering Resource Reservation Setup Protocol

**ToIP** - Telephony over IP

**TOS** - Type of Service

**UDP** - User Datagram Protocol

**VCI** - Virtual Channel Identifier

**VoIP** - Voice over IP

**VPI** - Virtual Path Identifier

**VPN** - Virtual Private Network

**VRF** - VPN Routing and Forwarding Table

**WDM** - Wavelength Division Multiplexing

**WiMAX** – Worldwide Interoperability for Microwave Access.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon. *Multiprotocol Label Switching Architecture*. RFC 3031, January 2001.
- [2] E. Rosen, Y. Rekhter. *BGP/MPLS IP Virtual Private Networks (VPNs)*. RFC 4364 (Proposed Standard), February 2006. Updated by RFCs 4577, 4684.
- [3] F. Le Faucheur, L. Wu, B. Davie, S. Davari, P. Vaananen, R. Krishnan, P. Cheval, J. Heinanen. *Multiprotocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services*. RFC 3720, May 2002.
- [4] D. Awduche, L. Berger, D. Gan, T. Li, V. Srinivasan, G. Swallow. *RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels*. RFC 3209 (Proposed Standard), December 2001.
- [5] S.Harnedy. *The MPLS Primer*. Prentice Hall, November 2001.
- [6] Cisco Systems, Inc. *Introduction to Cisco MPLS VPN Technology*, 2002.
- [7] Cisco Systems, Inc. *Resource-Reservation Protocol (RSVP)*, 2003.
- [8] Juniper Networks, Inc. *RFC 2547bis: BGP/MPLS VPN Fundamentals*, 2001.
- [9] ITU-T *Recommendation H.323*, June 2006
- [10] ITU-T *Implementor's Guide for Recommendation of the H.323 System*, April 2006.
- [11] ITU-T *Recommendation H.323*, December 2009
- [12] ITU-T *Implementor's Guide for Recommendation of the H.323 System*, November 2009.
- [13] Paul E. Jones. *H.323 Protocol Overview*, October 2007. Enlace de descarga: <http://www.packetizer.com/ipmc/h323/papers/>.
- [14] Paul E.Jones. *Overview of H.323*, April 2007. Enlace de descarga: <http://www.packetizer.com/ipmc/h323/papers/>.
- [15] Boaz Michaely. *In Depth H.323 Overview*, November 2000. Enlace de descarga: <http://www.packetizer.com/ipmc/h323/papers/>.
- [16] Verizon, Inc. *Understanding Voice over IP Converged Trunking Alternatives*, 2008
- [17] David Lemelin. *Virtual IP Trunking: A Great Way to Get Started with VoIP*, August 2008.
- [18] T. Li, B. Cole, P. Morton, D. Li. *Cisco Hot Standby Router Protocol (HSRP)*. RFC 2281, March 1998.
- [19] Cisco Systems, Inc. *Hot Standby Router Protocol (HSRP): Frequently Asked Questions*, May 2008.
- [20] P. Almquist. *Type of Service in the Internet Protocol Suite*. RFC 1349 (Proposed Standard), July 1992. Updated by RFC 2474, 3168 and 3260.
- [21] Avaya Labs. *Avaya IP Telephony Implementation Guide*, July 2005.

[22] Avaya Labs. *Configuring H.323 Signaling and IP Trunks between Avaya Communication Manager and Cisco CallManager 4.0*, August 2005.

[23] Avaya Labs. *Avaya Communication Manager Network Region Configuration Guide*, July 2004.

[24] Cisco Systems, Inc. *Cisco Multiservice Packet Network Solution Overview*, August 2002.

---

## REFERENCIAS WEB

- [1] Broadband Forum. URL: <http://www.broadband-forum.org/>.
- [2] The internet engineering task force. URL: <http://www.ietf.org/>.
- [3] MPLS. URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol\\_Label\\_Switching/](http://es.wikipedia.org/wiki/Multiprotocol_Label_Switching/).
- [4] H.323. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/H.323/>.
- [5] H.323. URL: <http://www.voipforo.com/H323/H323senalizacion.php/>.
- [6] Metro Ethernet Forum. URL: <http://metroethernetforum.org/index.php/>.
- [7] IP Trunking. URL: [http://www.hill2dot0.com/wiki/index.php?title=IP\\_trunking/](http://www.hill2dot0.com/wiki/index.php?title=IP_trunking/).
- [8] HSRP. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/HSRP/>.
- [9] Cisco Systems, Inc. Cisco 7200 Series Routers. URL: [http://www.cisco.com/en/US/products/hw/routers/ps341/products\\_data\\_sheets\\_list.html/](http://www.cisco.com/en/US/products/hw/routers/ps341/products_data_sheets_list.html/).
- [10] Cisco Systems, Inc. Cisco 3800 Series Integrated Services Routers. URL: [http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps5855/product\\_data\\_sheet0900aec8016a8e8.html/](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/routers/ps5855/product_data_sheet0900aec8016a8e8.html/).
- [11] Cisco Systems, Inc. Cisco Catalyst 3550 Series Intelligent Ethernet Switches. URL: [http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps646/product\\_data\\_sheet09186a00800913d7.html/](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps646/product_data_sheet09186a00800913d7.html/).
- [12] Cisco Systems, Inc. Cisco Catalyst 3550 Series Switches. URL: [http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps5023/product\\_data\\_sheet0900aec80371991.html/](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/switches/ps5718/ps5023/product_data_sheet0900aec80371991.html/).
- [13] Alcatel-Lucent. Alcatel 7450 Ethernet Service Switch. URL: <http://enterprise.alcatel-lucent.com/?product=7450EthernetSwitch&page=overview/>.
- [14] Alcatel-Lucent. Alcatel 7750 Service Router. URL: <http://enterprise.alcatel-lucent.com/?product=7750ServiceRouter&page=overview/>.
- [15] Adva Optical Networking. FSP2000 WDM System. URL: <http://www.advaoptical.com/default.aspx?id=121/>.
- [16] Alcatel-Lucent. Alcatel-Lucent 1692 WDM System. URL: <http://www.yerevantelecom.am/products/1692/3.pdf>.
- [17] Alcatel-Lucent. Alcatel-Lucent 1692 WDM System URL: <http://www.yerevantelecom.am/products/1696/1.pdf>.
- [18] Acme Packet. Acme Packet Net-Net 4000 Series Session Border Controller. URL: <http://www.acmepacket.com/html/page.asp?PageID={393672F6-30AC-4F21-A616-00C58DC997CC}>.
- [19] Cisco Systems, Inc.. URL: <http://www.cisco.com/>.
- [20] Adva Optical Networking. URL: <http://www.advaoptical.com/>.

[21] Alcatel Lucent. URL: <http://alcatel-lucent.com/>.

[22] Avaya. URL: <http://www.avaya.com/>.

[23] Italtel. URL: <http://www.italtel.com/>.

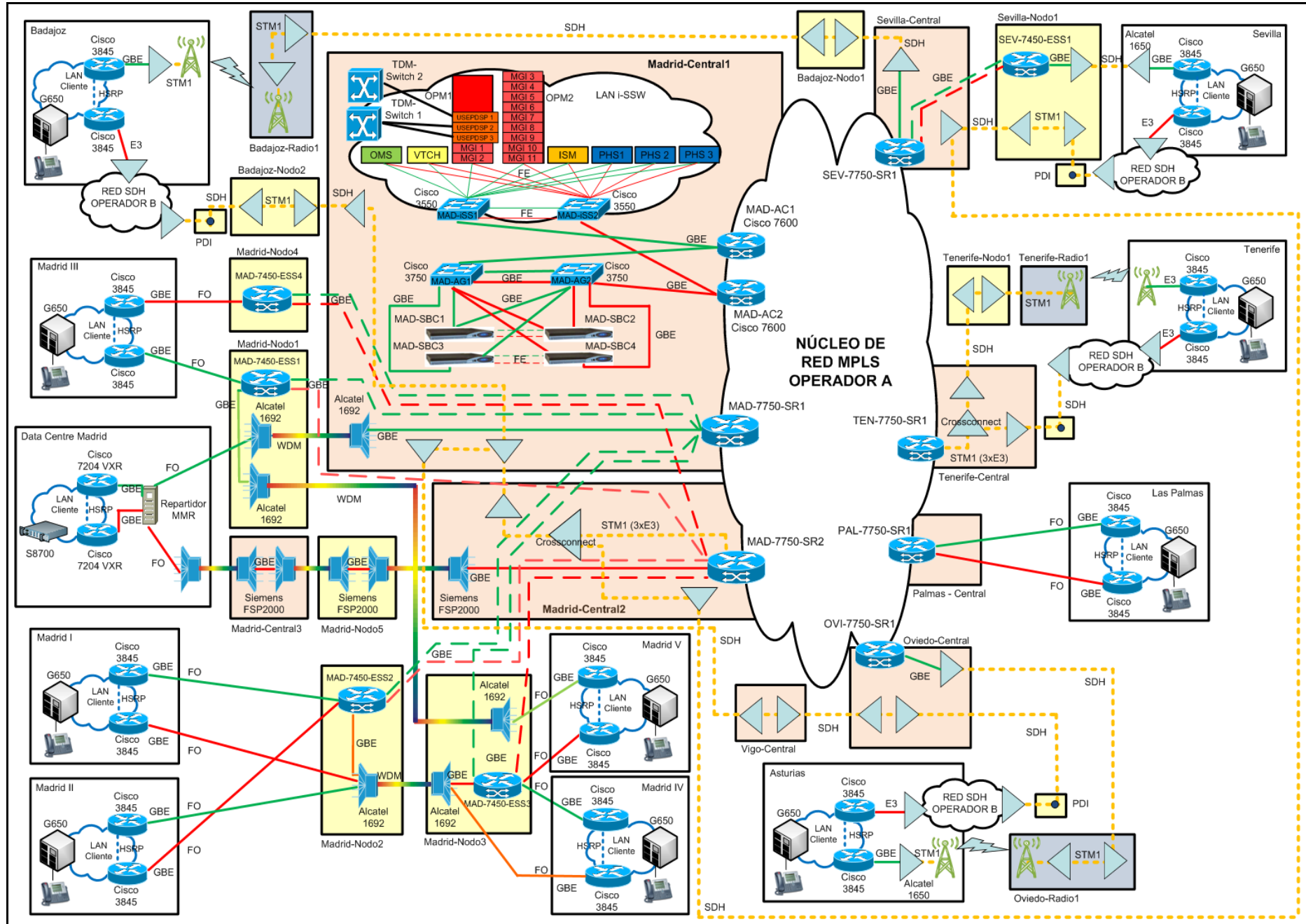
## **ANEXO A: ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN COMPLETA**

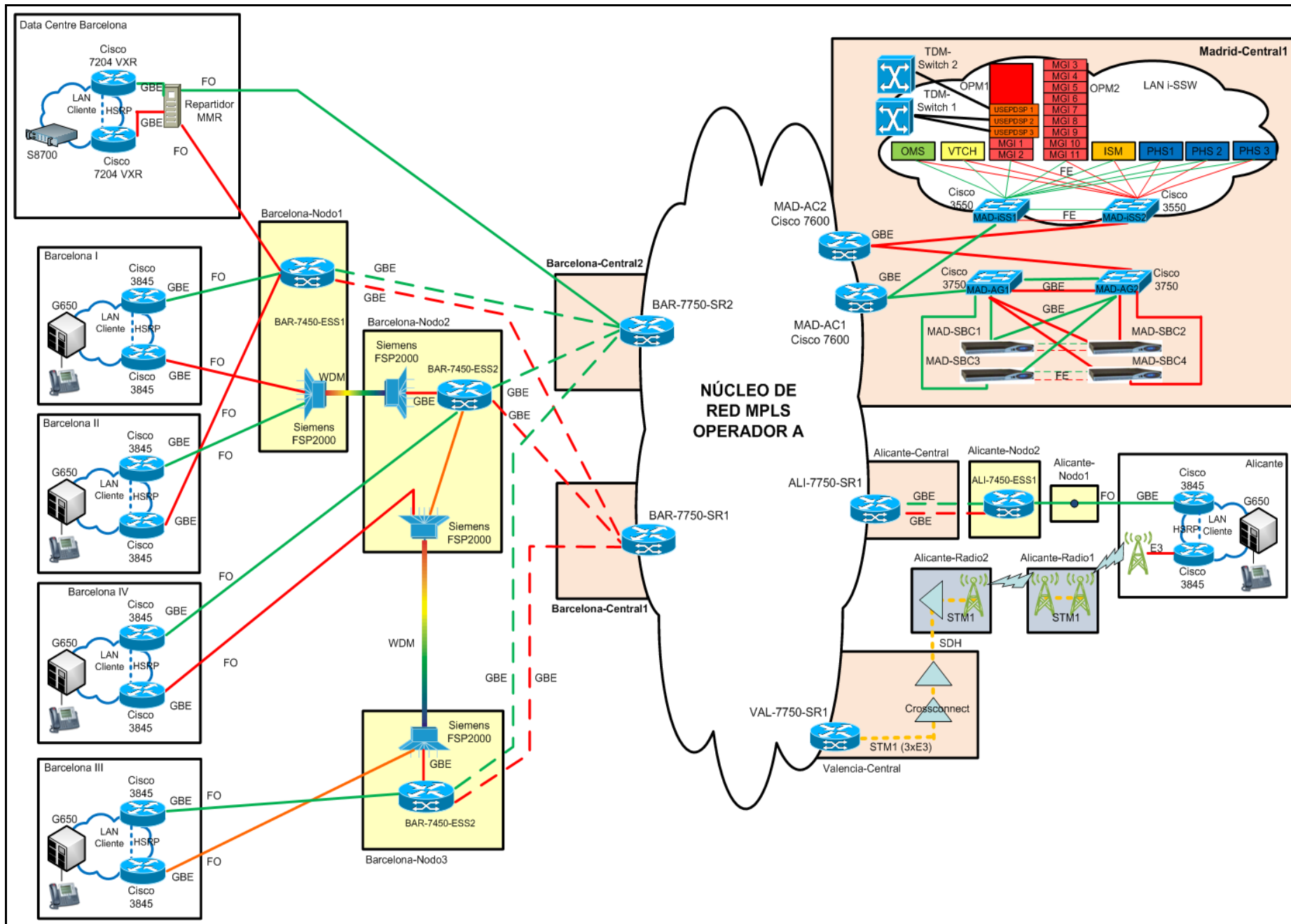
En el presente anexo se muestra un esquema de la arquitectura de la solución completa, incluyendo los enlaces de todas las sedes hacia la red MPLS, la arquitectura de la plataforma de voz y la conectividad de esta con la plataforma de datos.

Para mayor claridad se ha dividido el esquema en dos partes, repartiendo las sedes, aunque todas ellas se encuentran interconectadas a través de la red VPN-MPLS formando parte de la misma red.

La plataforma de voz se ha representado en ambos esquemas para mostrar la conectividad entre la misma y las sedes del cliente. La plataforma es única, ubicada en Madrid-Central1, y presta servicio a todas las sedes.







---

## ANEXO B: PRESUPUESTO

En el presente anexo se estiman los costes de la implantación en red de la solución propuesta, considerando principalmente las inversiones requeridas en infraestructura y equipos y los costes asociados al capital humano requerido para la gestión y documentación del proyecto. Se ha incluido también otros costes derivados del uso del material y entorno necesario para realizar estas actividades.

### Infraestructura y equipos.

Las inversiones en infraestructura y equipos se dividen en varias categorías:

- Construcción de los enlaces de acceso. Aquellas inversiones requeridas para el establecimiento de los enlaces entre las sedes del cliente y el punto de acceso a la red MPLS.
- Equipamiento de cliente. Coste de los *routers* instalados en la sede del cliente para el acceso a la red VPN-MPLS.
- Plataforma de voz. Inversiones a realizar en la ampliación de los elementos de la plataforma de voz para soportar los requerimientos de tráfico del cliente.

### Construcción de los enlaces de acceso.

Dentro de la construcción de los enlaces de acceso se ha desglosado el coste requerido para cada una de las sedes y cada una de las vías (principal y *backup*). Por otra parte el coste de cada uno de los enlaces se ha separado en tres conceptos:

- Infraestructura. Inversiones asociadas a proporcionar cobertura a la sede del cliente, tales como obra civil, tendidos de fibra, establecimiento de vanos radio, etc.
- Transmisión. Coste de las ampliaciones necesarias en la red de transmisión (WDM y SDH principalmente) para el transporte de los enlaces desde el primer nodo del operador al que tiene acceso el cliente hasta el nodo en el que se encuentren ubicados los equipos de acceso a la red MPLS.
- Red. Coste de las ampliaciones necesarias en la red de datos para soportar la solución ofertada al cliente.

Con estas consideraciones los costes asociados a la construcción de los enlaces de acceso son los siguientes:

Sede	Enlace	Concepto	Descripción	Coste (€)
<b>DC Madrid</b>	Principal	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo1	1500
		Transmisión	Pareja de módulos GBE para tarjetas 4xany	2200
		Red	Interfaz óptico SPF SX en ESS	180
	Backup	Transmisión	Tarjetas 2TCM en equipos Siemens FSP2000 (2 Tarjetas por tramo)	28000
		Red	Interfaz óptico SPF SX en ESS	180
<b>DC Barcelona</b>	Principal	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Barcelona-Central2	1500
		Red	Interfaz óptico SPF LX en ESS	370
	Backup	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo1	1500
		Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
<b>Madrid I</b>	Principal	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo2	1500
		Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
	Backup	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo2	1500
		Transmisión	Vano de capa con pareja de equipos Alcatel 1692, tarjetas 4xany y módulos GBE	15000
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180
<b>Madrid II</b>	Principal	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo2	1500
		Transmisión	Pareja de tarjetas 4xany y módulos GBE	4900
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180
	Backup	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo2	1500
		Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
<b>Madrid III</b>	Principal	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo1	1500
		Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
	Backup	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo4	1500
		Red	Interfaz óptico SPF ZX en SR	1700
<b>Madrid IV</b>	Principal	Infraestructura	Tendido (300m) y activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo3	4600
		Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
	Backup	Infraestructura	Tendido (1100m), canalización (210m) y activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo3	31700
		Transmisión	Pareja de módulos GBE para tarjetas 4xany	2200
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180
<b>Madrid V</b>	Principal	Infraestructura	Tendido (350m), canalización (80m) y activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo3	11700
		Transmisión	Vano de capa con pareja de equipos Alcatel 1692, tarjetas 4xany y módulos GBE	15000
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180
	Backup	Infraestructura	Tendido (800m) y activación del enlace de fibra hasta Madrid-Nodo3	15250
		Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
<b>Barcelona I</b>	Principal	Infraestructura	Tendido de (150m), canalización (30m) y activación del enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo1	5000

	Backup	Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
		Infraestructura	Tendido (1200m), canalización (60m) y activación del enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo1	26000
		Transmisión	Vano de capa con pareja de equipos Siemens FSP2000, tarjetas 2TCM y módulos GBE	26000
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180
<b>Barcelona II</b>	Principal	Infraestructura	Tendido (1200m), canalización (60m) y activación del enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo1	25000
		Transmisión	Pareja de módulos GBE para tarjetas 2TCM	2600
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180
	Backup	Infraestructura	Tendido (200m), canalización (60m) y activación del enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo1	10000
		Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
<b>Barcelona III</b>	Principal	Infraestructura	Tendido (300m), canalización (50m) y activación del enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo3	8500
		Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
	Backup	Infraestructura	Tendido (900m), canalización (50m) y activación del enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo1	14500
		Transmisión	Pareja de tarjetas 2TCM y módulos GBE	7600
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180
<b>Barcelona IV</b>	Principal	Infraestructura	Tendido (150m), canalización (15m) y activación del enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo2	3500
		Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
	Backup	Infraestructura	Tendido (500m), canalización (240) y activación del enlace de fibra hasta Barcelona-Nodo2	31500
		Transmisión	Pareja de módulos GBE para tarjetas 2TCM	2600
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180
<b>Sevilla I</b>	Principal	Transmisión	Tarjeta Gigabit Ethernet en el ADM del cliente y en el ADM de Sevilla-Nodo1	8000
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180
	Backup	Infraestructura	Alta circuito E3 (34 Mbps) con Operador B	1580
<b>Alicante I</b>	Principal	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Alicante-Nodo2	2100
		Red	Interfaz óptico SPF LX en SR	370
	Backup	Infraestructura	Establecimiento del radioenlace	29500
<b>Tenerife I</b>	Principal	Infraestructura	Establecimiento del radioenlace	29500
		Transmisión	Tarjeta 3x34 en el ADM de Tenerife-Radio1	1100
	Backup	Infraestructura	Alta circuito E3 (34 Mbps) con Operador B	1580
<b>Las Palmas</b>	Principal	Infraestructura	Activación del enlace de fibra hasta Palmas-Central	1500
		Red	Interfaz óptico SPF LX en ESS	370
	Backup	Infraestructura	Tendido (390m), canalización (20) y activación del enlace de fibra hasta Palmas-Central	3800
		Red	Interfaz óptico SPF LX en ESS	370
<b>Badajoz I</b>	Principal	Infraestructura	Establecimiento del radioenlace (incluye ADM en sede cliente)	107900
		Transmisión	Tarjeta Gigabit Ethernet en el ADM de Sevilla-Central	4000
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180
	Backup	Infraestructura	Alta circuito E3 (34 Mbps) con Operador B	1580
		Transmisión	Tarjeta STM1 en el ADM de Badajoz-Nodo2	2900
<b>Asturias I</b>	Principal	Infraestructura	Establecimiento del radioenlace (incluye ADM en sede cliente)	107900
		Transmisión	Tarjeta Gigabit Ethernet en el ADM de Oviedo-Central	4000
		Red	Interfaz óptico SPF SX en SR	180

	Backup	Infraestructura	Alta circuito E3 (34 Mbps) con Operador B	1580
<b>Total</b>				<b>624590 €</b>

**Tabla 10:** Coste de la construcción de los enlaces de acceso.

### Equipamiento de cliente.

El *router* utilizado en las sedes del cliente tendrá la misma configuración en todas ellas, tanto para el enlace principal como el de *backup*, a excepción del módulo de interfaz hacia el enlace de salida a la red VPN-MPLS. El coste de un *router* con la configuración seleccionada es el siguiente:

Concepto	Descripción	Coste (€)
<b>CISCO3845</b>	Cisco 3845 w/AC PWR, 2GE, IP Base	6370
<b>PWR-3845-AC/2</b>	Cisco 3845 Redundant AC Power Supply	240
<b>CAB-ACE</b>	Power Cord Europe	--
<b>S384SPSK9</b>	Cisco 3845 IOS SP SERVICES	480
<b>MEM3800-256D</b>	256MB SDRAM default memory for 3800	--
<b>MEM3800-64CF</b>	64MB Cisco 3800 Compact Flash Memory Default	--
<b>Total</b>		<b>7090 €</b>

**Tabla 11:** Coste del *router* Cisco 3845.

En el caso de los *Data Centre* el *router* utilizado será un Cisco 7204, en idéntica configuración para ambos centros y tanto para el enlace principal como el de *backup*, excepto el módulo de interfaz de salida hacia la red VPN-MPLS. El coste de un *router* con la configuración seleccionada es el siguiente:

Concepto	Descripción	Coste (€)
<b>CISCO7204VXR</b>	Cisco 7204VXR, 4-slot chassis, 1 AC Supply w/IP Software	3500
<b>PWR-7200/2</b>	Cisco 7200 Redundant AC Power Supply Option (280W)	1350
<b>CAB-ACE</b>	Power Cord Europe	--
<b>S72C-12312</b>	Cisco 7200 Series IOS IP PLUS	--
<b>NPE-G1</b>	7200 Network Processing Engine with 3 GE/FE/E ports	6600
<b>MEM-NPE-G1-1GB</b>	Two 512MB mem modules (1GB total) for NPE-G1 in 7200	1600
<b>MEM-NPE-G1-FLD64</b>	Cisco 7200 Compact Flash Disk for NPE-G1, 64 MB included	--
<b>Total</b>		<b>13050 €</b>

**Tabla 12:** Coste del *router* Cisco 7204.

Teniendo en cuenta el coste de los *routers* con la configuración seleccionada y los interfaces requeridos para cada una de las sedes el coste total en equipamiento son:



Sede	Concepto	Descripción	Coste (€)
DC Madrid	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP SX	230
	<i>Routers</i>	2xCisco 7204	26100
DC Barcelona	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP LX	440
	<i>Routers</i>	2xCisco 7204	26100
Madrid I	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP LX	440
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Madrid II	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP LX	440
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Madrid III	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP ZX	1780
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Madrid IV	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP LX	440
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Madrid V	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP LX	440
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Barcelona I	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP LX	440
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Barcelona II	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP LX	440
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Barcelona III	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP LX	440
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Barcelona IV	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP LX	440
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Sevilla I	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP SX	230
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Tarjeta NM-1T3/E3	3780
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Alicante I	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Tarjeta NM-1T3/E3	3780
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Tenerife I	Interfaz enlace principal	Tarjeta NM-1T3/E3	3780
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Tarjeta NM-1T3/E3	3780
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Las Palmas I	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP LX	440
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Interfaz óptico SFP LX	440
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Badajoz I	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP SX	230
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Tarjeta NM-1T3/E3	3780
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
Asturias I	Interfaz enlace principal	Interfaz óptico SFP SX	230
	Interfaz enlace <i>backup</i>	Tarjeta NM-1T3/E3	3780
	<i>Routers</i>	2xCisco 3845	14180
<b>Total</b>			<b>300400 €</b>

Tabla 13: Coste en equipamiento de cliente.

### Plataforma de voz.

Los costes requeridos para la ampliación de la plataforma de voz del operador son los siguientes:

Concepto	Descripción	Coste (€)
<b>MGI</b>	11 Tarjetas Media Gateway Integrado	38500
<b>OPM</b>	Módulo OPM	6000
<b>ISM</b>	Módulo ISM	10000
<b>PHS</b>	3 Módulos PHS	15000
<b>SBC</b>	2 SBC Acme Packet serie 4000	29200
<b>Interfaces ópticos</b>	4 SFP SX para Cisco 3750 (conexión a los SBC)	920
<b>Total</b>		<b>99620 €</b>

**Tabla 14:** Coste de ampliación de la plataforma de voz.

### Capital humano.

Dentro del capital humano se ha considerado el coste de Jefe de Proyecto dedicado para el seguimiento de la implantación y el personal destinado a la documentación.

El coste de la instalación y configuración de los elementos de red está repercutido en el precio de los propios equipos y no se ha considerado como parte del capital humano.

Los costes son los siguientes:

Actividad	Horas		Coste (€)
<b>Documentación previa</b>	Ingeniero Técnico	80 (2 semanas, 8h/día)	4800
<b>Dirección de Proyecto</b>	Ingeniero Superior	960 (24 semanas, 8h/día)	91200
<b>Documentación final</b>	Ingeniero Técnico	80 (2 semanas, 8h/día)	4800
<b>Total</b>			<b>100800 €</b>

**Tabla 15:** Coste humano de la ejecución del proyecto.

### Material (costes indirectos).

Se han considerado en este apartado los costes indirectos asociados al proyecto:

Concepto	Coste (€)
<b>Teléfono</b>	600
<b>Reprografía</b>	300
<b>Papelería</b>	300
<b>Total</b>	<b>1200 €</b>

**Tabla 16:** Costes indirectos del proyecto.



**Coste total.**

El coste total del proyecto sumando todos los conceptos es el siguiente:

Concepto	Coste (€)
Construcción de los enlaces de acceso	624590
Equipamiento de cliente	300400
Plataforma de voz	99620
Capital humano	100800
Material	1200
<b>Total</b>	<b>1126610 €</b>

**Tabla 17:** Coste total del proyecto

El importe total del proyecto asciende a la cantidad de **un millón ciento veintiséis mil seiscientos diez euros**.